



# 北海道情報大学紀要

ISSN 0915-6658

Memoirs of Hokkaido Information University Vol.27 No.1 November 2015

# 27-1

# Memoirs of Hokkaido Information University

# 北海道情報大学紀要

第27巻 第1号

2015年11月



北海道情報大学



# 目 次

## 〈論 文〉

普通科高校における教育課程の類型に関する実践研究 —進路実現をめざす教育課程編成の視座を求めて—	椿 達	1
バイオマス海藻の流動シミュレーションモデル	古川 正志 小川 純 山本 雅人 渡辺美知子 澤井 秀	17
確率的構成モデルに基づく海洋植物群の成長パターンとその挙動	古川 正志 小川 純 山本 雅人 渡辺美知子 澤井 秀	29
若年女性低血圧者の現状および身体的特徴に関する検討	佐藤 浩樹	41
ネット依存が道德性の発育に及ぼす影響 ——〈他なるもの〉との関係、および〈自己〉との関係の喪失——	後藤 雄太	51
高校数学の論理教材の体系と導出原理に基づく証明技法について	林 雄一郎	61
英語慣用句の通時的研究 —go the whole hogの軌跡—	伊藤 一正	81
日本人と外国人はどのようにお互いを認識するか お互いの認識のずれはなぜ起こるかを社会言語学的に分析する	チャールズ・マクラーティ	93

## 〈研究ノート〉

位置情報に基づく背景音楽を伴う音声観光案内システムの開発	長尾 光悦 吉野 美優	105
------------------------------	----------------	-----

## 〈報 告〉

LOD (Linked Open Data) による地域情報の発信と活用に関する研究	斎藤 一 長尾 光悦 諸岡 卓真	113
--	------------------------	-----



〈論 文〉

## 普通科高校における教育課程の類型に関する実践研究

### －進路実現をめざす教育課程編成の視座を求めて－

椿 達 \*

## Practical Research on Types of Curriculum of General High School － For a viewpoint of curriculum planning aiming at course realization －

Toru TSUBAKI \*

### 要旨

北海道の普通科高校の教育実践から得られた資料をもとに、高等学校における教育課程の類型や進路指導の方法について研究した。また「教育の実践研究に対して教育学研究の成果をどのように活かすのか」という課題に対して、教育実践に教育学研究を「かぶせる」という新しい方法を試みた。

### Abstract

Based on the materials obtained from educational practice of a general high school in Hokkaido, I have researched on types of curriculum of high school and the method of guidance. Moreover, for the task “How do we utilize results of research on pedagogy for practical research of education?”, I have tried to establish the new method “Covering” educational practice with the research on pedagogy.

### キーワード

教育課程 (Curriculum) 教育課程編成 (Curriculum planning) 類型制 (Types of curriculum) 進路指導 (Career guidance) キャリア教育 (Career education) 実践研究 (Practical research)

---

\* 北海道情報大学経営情報学部准教授 Associate Professor, Department of Business and Information Systems, HIU

## 1. 本研究の目的

本研究は、北海道の石狩管内にある全日制高等学校（以下「A校」）における教育課程の編成や進路指導等の教育実践を対象とした実証的なものである。A校は、3学科の併置校であり、その教育課程編成は、教科や分掌等から数名ずつ選出された委員と教頭で構成する教育課程委員会において、少しずつ議論を積み重ねて原案を作成し、職員会議で決定、校長の決済を受けるボトムアップ的な作業であった。筆者は、平成13年度から平成22年度までA校に勤務し、平成14年度から16年度まで教務主任として教育課程委員会のリーダーを務めたが、その舵取りはまるで巨大タンカーを操作するようであり、とくに普通科の編成過程においては幾度も難破しそうになった。このあたりの経緯等は、第13回日本高校教育学会（平成17年7月25日、筑波大学）において「教育課程編成における教務主任の役割について—実践報告→研究のいとぐちを探しながら—」と題し、発表した。

その中において、教務主任の教育課程編成上の役割を、「草案の執筆」、「教育課程委員会の運営」、「職員会議への提案」の3点にまとめ、そのうち「草案（原案のたたき台）の執筆」におけるポイントを、「基本は力強い草案を執筆すること」とした。そして草案の執筆に際して、過去の経緯を踏まえているか（連続性保持）、実態を踏まえているか（実態把握）、理性的に納得できるか（理論の構築）を、「力強い草案」の要件とした。

さて、本研究の目的であるが、第1の目的として、A校の教育課程編成に向けての「連続性保持」に資するためである。前回の

教育課程の編成に関わった者が、その教育課程における教育実践を記録し、実証的に振り返っておくことである。

第2の目的として、教育の実践研究に対して教育学研究の成果をどのように生かすかの課題に対して、新しいアプローチを試みることである。教育現場では相変わらず教育学研究に対する「軽視（何を青臭いことを）」や「無視（教育は実践が全てだ）」という冷ややかな眼差しは依然としてある。それとは反対に高校教員が自らの教育実践を振り返り、まとめるときには、それが単なる報告に終わるか、教育学研究の成果を参照する程度のものとなり、研究実践と教育学研究相互の深まりのあるやりとりは、その方法論において、立ち止まったままである。また研究という尺度においては、教育実践の研究はどうしても低く置かれてしまっているのではないだろうか。そのような問題意識に立ち、本研究では教育学研究を教育実践に「かぶせる」という方法を試みた。

「かぶせる」とは、ある物質Xに試薬Yを流し込んで、その反応を観察するような感覚であり、イメージは化学反応の実験である。すなわち教育実践に教育学研究をかぶせるとは、その教育実践の試薬としてふさわしい教育学研究を選び、一冊丸ごとかぶせてみて、分析・解明・整理・批判などを「反応」として引き出して論述する、総合的で対等な新しいアプローチである。

## 2. 普通科高校における類型制の現状

学習指導要領（平成21年3月告示）において、類型制に関しては、総則の第5款「教育課程の編成・実施に当たって配慮すべき

事項」の一つの項目に「教育課程の編成に当たっては、生徒の特性、進路等に応じた適切な各教科・科目の履修ができるようにし、このため、多様な各教科・科目を設け生徒が自由に選択履修することのできるよう配慮するものとする。また、教育課程の類型を設け、そのいずれかの類型を選択して履修させることになっている各教科・科目以外の各教科・科目を履修させたり、生徒が自由に選択履修することができる各教科・科目を設けたりするものとする」とある。それは平成 11 年 3 月告示の学習指導要領と変わらない項目であり、類型制を敷くときの留意事項を記述するに留まる。類型制はもはやトレンドではなく、受け取り方によってはシステムを抑制したいとの意図さえ伝わる表現である。

しかし半世紀前は違っていた。昭和 30 年改訂の学習指導要領では、まず「この改訂を行うにあたって意を用いた点」で示した 7 つのうちの一つの項目として「教育にいつそうの計画性をもたせるため、特に普通課程においては、教育課程の類型を設け、これにより生徒の個性や進路に応じ、上学年に進むにつれて分化した学習を行いうるようになること」として、普通科高校は類型制を敷くことが前提であるとの力強い表記になっている。さらに同要領において類型制の定義とも言える次の記述がある。

「普通課程においては、いわゆる普通教科を中心としてその教育課程を編成する。この課程に入学する生徒の間には、個性の特徴や将来の進路にさまざまなちがいが見られる。したがって、その教育課程は、個々の生徒の個性や進路の多

様性に応ずることが望ましい。この場合、個々の生徒の個性や進路の傾向には、これを大きくながめると、おのずと共通する部分がある。その共通な面に着目して典型的に生徒の個性や進路の傾向を捕え、その必要をできるかぎり満たすように教育課程の類型を編成し、これによって、全学年を通じて、広くしかも調和のとれた教育が計画的、能率的に行われるようにしなければならない。」

文部省「高等学校学習指導要領一般編」昭和 30 年 12 月 5 日発行、  
pp.8-9

職業科よりも志願倍率が低く、高卒後はすぐに経済を支える人材の即戦力として期待された時代において、普通科は普通教科を中心にして、生徒の個性や進路の多様性に応じて、どのようにして教育課程を編成するか、そのモデルが類型制であった。

どのような類型制を敷くか。そのモデルは同要領の「教育課程編成の方法」(pp.27-28)にあり、「第 1 学年において履修する教科、科目およびその単位数は、できるだけこれを共通にする」や「第 2 学年以後においては、生徒の個性や進路の傾向を重んじ、重点をおいて学習すべき教科群を中心として教育課程を編成する」など、細かく 6 つにわたって指示している。すなわち、昭和 30 年の学習指導要領で示された類型制のモデルは、1 学年は共通で、2、3 学年は「個性や進路の傾向を重んじ、重点をおいて学習すべき教科群」をまとまりとした類型制であった。

では、現状はどうか。平成 22 年度の調

査であるが、普通科を有する石狩管内の道立高校 35 校のうち、ホームページ上で教育課程表を公開している 23 校の類型を調べてみたところ、次の 2 つの特徴が読み取れた。

- ① 多いのは 2 年まで共通、3 学年において文と理の 2 類型を設定するシンプルな 1-1-2 型である (9 校)。オーソドックスな類型で、伝統的な進学校に見られる型であった。
- ② 準進学校では国公立大学の入試に対応しなければならないし、国公立大学への進学を希望しない生徒をどうするかという観点から、どうしても類型は複線化の傾向となろう。A 校の旧類型の文Ⅱも理型と文Ⅰ型でない類型＝文理型であった。1-1-3 型、1-2-3 型、1-3-3 型の学校のうち文理型 (または統合型) を設定するのは、そのような発想に立たざるをえない準進学校に多く見られた。

### 3. A 校の教育課程について

A 校は、昭和 23 年に設立、現在は普通科 (6)、国際流通科 (2)、国際教養科 (1) が併置されている (カッコ内は 1 学年の間口数)。国際流通科は商業科 (昭和 14 年度設置) が平成 11 年度に転科し、同年度に英語の専門学科である国際教養科が新設された。学校の特色として国際理解教育を掲げ、韓国や米国の高校との相互交流を学校行事や「総合的な学習の時間」の中で実施したり、第 2 外国語 (ハングル・中国語・ロシア語) を選択科目として設置するなど教育課程に特徴を持たせている。しかし A 校を規定するのは、「地域の学校」という役割である。A 校

(職員) にとって、「地域の期待」としての量と質のニーズに応じていくことが課せられているという認識があり、平成 5 年度ころからスタートした A 校の学校改革は、進学重視の K 校の設立による影響によるものである。

A 校は、学校教育目標・経営方針を受けて教育課程の編成方針の策定を行うこととし、教育課程 (普通科) の編成方針の策定 (平成 14 年度) において、1 つの学年ごとに決定していった。最大の難所は 2 学年の類型をどうするかであり、「緩やかな類型」というコンセプトに行き着くまでの調整は果てしないものであった。当時の資料をひもといてみると、この類型決定に多大な時間と労力を費やすことになった理由を次のようにまとめた。

- ① 「普通科の類型をどうするか」はまさしく、大枠論と具体論の行きつ戻りつの質量とも重く膨大な調整となった。それは A 校の抱えてきた「効率 (選抜)」VS「平等」の教育価値の対立が根底にあったからである。
- ② そのような対立する教育価値観の調整作業は、どちらともに正当性があることから、水掛け論に陥り、議論が空転し、あたかも海辺の砂山のように、積んでは、ザーっと崩されていくようなむなしさが募るような作業であった。
- ③ 旧カリの問題点の解消は、しっかりと共有できていたものの、2 年生からの文理 2 類型はしかたないとする現実派主導で具体案を積み上げて行くも、2 年生までは共通型と心の奥に秘めている理想派が最後まで難色を示していた。
- ④ そもそも旧類型については、平成 11 年

度の職員会議において従来の枠組み（類型制と選抜クラス）維持は承認された。しかしそのシステムの効果性についてはデータを用いたりする形で評価（総括）されては来なかった。類型制のゆがみを現象面からとらえ、その問題を共有できたとしても、実体に対しての眼差しの尺度や角度の違いがあり、議論は空転してしまった。

以下に、A校の教育課程（普通科）の概要をまとめておく。

#### <教育課程編成のコンセプト>

- ① 早期必修クリア（生徒の選択の自由度を確保する。できればその必修科目も2,3年で学ぶ受験科目と結合させて深化させる。）
- ② ボトムアップ（旧類型下における意図せざる状況「文Ⅱ系の生徒の中に『学び』から逃避してしまう層がかなり厚く存在してしまうこと」を解消し、生徒全体の学力を面として上げていく。また生徒の希望を生かし、学習へのモチベーションを高め維持する。）
- ③ 生徒の進路希望への対応（生徒の進路目標達成に対して効果的であり、質的にも量的にも伸ばしていくなどA校の役割期待を果たしていくことに希望が持てるカリキュラムとする。生徒が高校で学ぶべきこと、学ばねばならないことを強く求めていく。）

#### <特徴>

- ① 旧類型の2年次からの「三類型」を、2年次「緩やかな二類型」+3年次「四類型」とした。

- ② 選択科目群の整理をした。特に旧文Ⅱに設定していた教養的な科目（「情報基礎」、「文書処理」、「社会福祉基礎」）を廃止した。
- ③ 三教科や五教科の合計単位数がどの類型も増加し、アカデミック教科（国語・地理歴史・公民・数学・理科・外国語の6教科）に特化し、選択性の自由度の低い「学業重視型」の分類基準である五教科合計71時間を上回っており、客観的にも「大学進学に有利な方向」に特化したカリキュラム色を深めた、と分析できる。

#### <類型制>

##### （1）類型への思い

生徒の希望を大切にしたい。少なくとも2年生までは学校側の都合（効率化など）で、生徒の希望が妨げられるのは避けよう。しかし多くの生徒や保護者の希望が国公立大学進学であり、またその希望をかなえていくことが、A校の今までの学校改革の第一義のねらいであり、そのことは同じくらい優先させるべき学校課題である。そうであるならばそれを実現させる、さらにその数を伸ばす可能性のあるシステムを構築し、全教員の共通理解のもとに、新たなA校の10年間にチャレンジしたい。

##### （2）ねらい

- ① 生徒の希望を大切にし、学びのモチベーションを高めたい。
- ② 国公立大学への進学希望を更に達成させたい。

##### （3）具体的な方策

- ① 2学年では選択科目により緩やかな類型選択を実施する。
- ② 3学年では文型理型の類型制を敷き、文

理それぞれに進路希望別のコースを設定する。

- ③ 2年から3年において類型・コース選択によるHR編成の予定されるクラス数は文型5クラス、理型2クラスである。

#### (4) 長所と課題

最大のメリットは、3年生までの種類の決定を現在の1年の7月までに設定しなくてもよくなることだろう。類型を考えることは将来の職業を考えることでもあり、生徒の実状を踏まえるならば、進路指導(キャリア教育)面からも時間の有余は望まれていた。また、40人の整数倍にこだわらずに、文理分けを生徒の希望に沿うことができることは、生徒の学習へのモチベーションを高めていく効果は期待でき、今までの文Ⅱ系がかかえてきた課題解決にもつながり、A校生徒の学力の底上げが望める。

## 4. 教育実践に教育学研究をかぶせて

それでは、この教育実践に、教育学研究をかぶせてみる。その一冊に選んだのは、『夢追い』型進路形成の功罪—高校改革の社会学—(荒川, 2009)である。

### 4-1 はじめに

#### 4-1-1 本書の紹介

荒川は、人気(Attractive)はあるが、稀少(Scarcity)でその職業に就く確率は低く、さらに学問不問(Uncredentialed)なので、その職業を目指して挫折した場合は違った職業に就きにくくなり、フリーターやニートになってしまう確率が高い職業、たとえば「俳優」「声優」「タレント」「お笑い芸人」「バックダンサー」「デザイナー」「ミ

ュージシャン」「ギタリスト」「プロ野球選手」「小説家」「漫画家」などを、ASUC職業と名付けた。

このASUC職業を希望する生徒は、教育改革を推進する高校のいわゆる「下位校」において増加してしまっているなどの現状を、調査分析とフィールドワークを通して実証的に示し、「学校ランクによる希望職業の分断化」や成績の「中・下位校に働く冷却メカニズムの変容(クーリングアウトの制度化)」などが、1980年代後半から「在り方生き方教育」、そして「キャリア教育」を推進する教育改革上で起こっていると指摘する。生徒の「興味・関心」、「将来の夢」に応じた進路形成を目指した高校教育改革の帰結のモノグラフである。

#### 4-1-2 なぜ本書を選んだのか

本書は、若手研究者の「自分がこの研究をやらねば、誰がやる」という気概とともに、「キャリア教育」の推進に一石を投じる良書である。また、序章における研究の前提となる社会背景の整理やトラッキング・トランジション研究のレビューなど、日ごろ教育実践に比重を置かざるを得なく、教育研究をなかなか前進させることが困難な者たちにとって分かり易く、本教育実践にかぶせるための内容が整っていた。

これから、A校の教育課程と進路指導の教育実践を対象として、本書の研究成果をかぶせて、そこから生成する「反応」について論考していきたい。

### 4-2 「A校離れ」に対して

#### 4-2-1 「A校離れ」という現象

「A校離れ」は、同学区に昭和52年度に新設されたK校へ、地元(A市)からの中学生の進学(流出)が昭和62年度ごろから顕著になり、平成6年ごろまで徐々にそれが増加しつつ続いた現象であった。

筆者はこの現象を、①A校のターニングポイントが、進学者数の逆転が起こった昭和62年度にあったこと、②市内の中学生の流出は、親を自衛官とする子弟を中心にしてきたこと、③この現象に対してA校は、地域の期待はもっと幅の広いものであり、高校教育が人格の完成を目標とすることを本来の営みと考え、普通科単置の新設校に対抗して、ピンポイントの進学ニーズに応えるような早急な対応はできなかった、とデータをもとに分析した。

この「A校離れ」という現象に、荒川の研究(pp.4-14)をかぶせて、改めてこの現象を分析、整理する。

#### 4-2-2 高校階層構造の成立

##### (1) 第3の教育改革

荒川は、臨時教育審議会(1984~1987年度)以降に本格化した我が国の「第3の改革」と呼ばれる教育改革は、学校教育を個性化・多様化することで、それまでの価値一元的な社会を価値多元化社会へ変えようとしたものであること、小・中学校が教育内容の多寡を問うものだったのに対して、高校段階においては個性化・多様化政策が緊急の課題としておしすすめられ、教育内容そのものの変質を伴い、生徒の「興味・関心」、「将来の夢」に基づく選択学習・進路選択が目指された、とまとめる。

さらに「なぜ高校が改革の中心となったのか」について、高校はその階層構造の中で、

選抜・配分の中核的機構を担ってきたからであるとして、高校階層構造の成立について、次のように整理している。

##### (2) 高校階層構造下における普通科高校の増設

戦後、日本社会は復興を遂げ、高度経済成長を経験するようになると、威信の高い社会的地位につくことが「成功」と見なされ、人々はステータスの高い社会的地位をめざす大衆競争に参加するようになった。すなわちライフコースをめぐる価値が一元化された社会の出現である。また人々はこぞって学歴を求めた。それは高校入学段階で、一気に学力に基づく選抜が行われるため、高校は、選抜・配分の中核的機構となった。各高校は大学等への進学実績の尺度によって社会的に評価されるため、その尺度によって高校階層構造ができあがった。

この時期(1970年代前半)には大都市圏を中心に高校増設が続いたが、それは普通科を主体とした。普通科高校の増設について、荒川は他の文献から次の点を引用し、その理由としている。

- ① 大都市圏の保護者・生徒の間に普通科希望が強かった。また、この時期に相次いで登場した革新自治体がそれに応えようとした。
- ② 普通科高校は教育内容(同一の教育課程で管理運営)や校舎構造(教室を並べた箱形の校舎も同一の設計)まで画一的で、職業科に比して安上がりであったという現実的な事情も大きく反映した

そして、各高校は大学等への進学実績の尺度によって社会的に評価されるため、普通科と職業科とで、また旧来の伝統校と新しくできた新設校とで、細かく偏差値で序列付けられたいわゆる高校階層構造ができ

あがることになった。新設高校は広範囲に設定された通学区ごとの高校間序列の末端に位置づけられていった。

#### 4-2-3 「A校離れ」の再分析

かつての分析では、A校が開校当初から地域の幅の広いニーズに応える学校（全日制3学科、定時制併置）であるが故に、普通科単置で大学進学に学校目標を特化した新設校に対抗できなかったなど、こちら側からの内省的な分析に留まっていた。しかしこの教育学の研究成果をかぶせて、冷静に考察してみると、「なぜK校に生徒が集まったか（支持されたのか）」という別の視点から、この現象の背景を次のように浮かび上がらせることができる。

- ① K校の創立時（昭和53年度）は、高校が選抜・配分の中枢を担い、人々はこぞって学歴を求める普通科増設の時代であった。生徒や保護者のニーズを一元的に進学に絞り易く、教員も一枚岩になり易く、生徒もモチベーションを有していることから、指導もし易かったであろう。昭和62年度を「A校離れ」のターニングポイントとしたが、それはK校の開校10年目にあたる。研究指定を受けた学校のように、トップランナー効果が有効に作用したのではないだろうか。
- ② K校の設置位置が、JR駅から徒歩圏内であったことが、多くの新設校が「高校間序列の末端に」位置づけられる中で、そうはならなかった大きな理由であろう。A校とK校の中間に位置するB市内の中学校からのA校普通科とK校への入学者の相対的な数は、昭和59年度からの推移において急激な変化がない。

A市内の中学生の動きとは異なった。すなわち、地域の生徒・親にとって自宅からの通学の便も進学先決定の大きなポイントであったことが伺えるのである。

- ③ 学歴を求める大衆的な業績主義的競争に巻き込まれたのは、第三次産業に従事する家庭（サラリーマンや公務員）に顕著であったと考えられる。A・B市は自衛官を多く抱える地域であり、その層からの「A校離れ」が著しかったとの分析とともに、K校の地元C市が昭和40年代後半から団地の造成を進めて、札幌のベットタウンとして発展していったことに伴う単純な人口増による理由をあげるべきである。公務員家庭からの入学者増は、自衛官ばかりではなかったのである。

#### 4-3 「文Ⅱ問題」に対して

##### 4-3-1 「文Ⅱ問題」という学校課題

旧類型下における「文Ⅱ問題」（文Ⅱ系の生徒の中に『学び』から逃避してしまう層がかなり厚く存在してしまうこと）について、かつて「希望の類型に進めなかった生徒、あるいは選抜クラスからの学習意欲や学力低下の生徒（選抜くずれ）を中心として、教育アスピレーション水準を低めたという現象であった」と分析した。そしてその分析と同時に、「しかし実態は果たしてそうだったのか。もっと別のところにリアリティはあるのではないか」として次の3つの仮説を立てた。

仮説Ⅰ）旧類型は進路別による水平的な類型の設定を意図し、それぞれの進路に合わせた学習系で効率的に学ぶことをねらいとしたものの、受

け手(生徒)側からすれば進学と非進学(あるいは選抜と非選抜)といったいわゆる垂直な分化(二層化)と捉え、非進学(あるいは非選抜)に進んだと認識した生徒たちのアスピレーション水準を低め、別の価値(消費文化など)に移行し冷却するなどの適応を促進させたのかもしれない。

仮説Ⅱ) また視点をもっとマクロに移せば、そもそも豊かな社会がアスピレーションを上昇させていくなっているという問題があり、たとえば高校入学時点で垂直的序列に起因するトラッキング(学校間格差)が、単にもともとアスピレーション水準の高くはない生徒層がA校に入学してきているという厳しい実態が存在しているのであり、文Ⅱという類型(トラッキング)がアスピレーション水準を下げたというよりも、水準のそう高くはないA校の生徒をさらに類型により振り分けていただけなのかもしれない。

仮説Ⅲ) さらに実は「文Ⅱ問題」と学校改革の成果はコインの表裏であったのかもしれない。旧類型下において文Ⅰや理に進んだ生徒たちは文Ⅱ生徒とは反対にアスピレーション水準を高め、学力伸ばしていたのであり、旧教育課程は「平等」の水準を下げるかわりに、「効率」をしっかりと促進する実態(現実)に力強くはたらくシステムであったとも分析できるのかもしれない。

これらの仮説を通して描いてみた旧類型

下のA校生徒の実態に対して、荒川による教育学研究上のトラッキング研究のまとめ(pp.14-18)をかぶせて、考察を加えたい。

#### 4-3-2 トラッキング研究のまとめ

トラッキングとは「たとえば複線型学校システムのように法制的に生徒の進路を限定することはないにしても、実質的にはどのコース(学校)に入るかによってその後の進路選択の機会と範囲が限定されること」(藤田, 1980)である。我が国のトラッキング研究は、教育現場での教育病理が問題にされる中、高校階層構造と教育病理の問題が問題視され、配分されたトラック(=高校)によって到達可能な進路が制限されてしまうメカニズムなどについて、70年代～80年代に蓄積されていった。

荒川は、それらの研究で明らかにされた要素を網羅したものとして菊地(1990)の研究を取り上げている。表1にまとめた4点が菊地が生徒の社会化されるありように着目して明らかにしたトラッキングのメカニズムである。

#### 4-3-3 旧類型の実態

A校の1学年には選抜クラスというシステムがある。旧類型下(平成8年度)で導入したシステムで、現在は入学時において希望を聞き、80名(2クラス)を選抜する。240名の入学生のうち7～8割は希望し、入学時の成績で選抜している。旧類型は、2年生で理型1クラス、文Ⅰ型1クラス、文Ⅱ型5クラスの設定を生徒の希望に沿って決定するというものであったが、その実態は選抜クラスと2年からの文Ⅰ・理型コースが連続するシステムとなっていた。

教員間で選抜クラスから文Ⅱ型に進んだ生徒を「選抜くずれ」と呼称していたことから、「選抜」－「文Ⅰ・理型」の直列は当たり前としていた。すなわち旧類型は、見かけは1-3-3型の類型に分類されるが、選抜クラスを同時に導入したために、1学年で選抜クラスに属することが、2,3年生で希望の類型に進む上ではかなりのアドバンテージになってしまい、実態は2-2-2型でさらに直列の類型として機能していた。すなわち旧類型は、入学時に3年間の類型を決定してしまう、私立高校などに見られるような、選抜・一般クラスと同様のトラッキングシステムであったと分析できる。

#### 4-3-4 「文Ⅱ問題」の深層

この分析の上に立って、「文Ⅱ問題」に教育学研究をかぶせてみると、なぜ「学びから離れてしまうのか」がシステムの問題であったことなど、実態の深層にまで考察を及ぼすことができる。

- ① 文Ⅱクラスの生徒が2年生になって急激に「学び」から離れてしまうということではなく、実は1年生のうちから、教える側の「差別的教授効果」、生徒同士の「差別的友人効果」により、「非選抜クラス」の大多数の生徒は「学び」から離れてしまっていた。
- ② 「選抜クラス」のうち反学校・脱学校的な文化に同調する数名が文Ⅱ型にコースアウトして、同質の集団（peer culture）を「文Ⅱ」において形成していた。それが「選抜くずれ」の生徒たちである。
- ③ 旧類型は「文Ⅱ」＝「勉強しなくても良い集団」というレッテル張りの過程（負

の差別的烙印効果）を伴うものである一方で、「選抜」－「文Ⅰ・理型」のトラックに乗った生徒群は、表1にある3つの「入学後効果」を入学時から享受して、80名という枠組みの中で、同質の集団を形成して、進路目標実現に励むことができた。仮説Ⅲであげたコインの表裏の指摘は正にその通りであろう。

- ④ よって、「文Ⅱ問題」とは現象の表面をとらえただけのネーミングであり、問題の本質は、旧類型の構造的な性質にあり、必然的に多くの生徒をメリトクラシー的な価値観からクーリングダウン・クーリングアウトさせてしまっていたことであった。

#### 4-4 現教育課程の理念「ボトムアップ」

##### 4-4-1 「ボトムアップ」の検証

A校の現教育課程には5頁で示したように、3つのコンセプトがあった。その柱となるのが「ボトムアップ」の理念である。「ボトムアップ」とは、旧類型下における意図せざる状況「文Ⅱ系の生徒の中に『学び』から逃避してしまう層がかなり厚く存在してしまうこと」を解消し、生徒全体の学力を面として上げ、学習へのモチベーションを高め維持することであり、教育課程を牽引し、全スタッフでオールを漕ぐための掛け声でもある。

しかし、その初めての実施学年（平成15年度入学生）が3学年になるときに、生徒が希望した類型に、その人数を制限することなく進ませることから、3学年は2クラスにおいて類型混合（文Ⅰと文Ⅱ、理Ⅰと理Ⅱ）のHRが生じることになった。たとえば文Ⅰ希望の60人を文Ⅱとの混合クラス

と文Iだけの単独クラスにどのように分けるのか、すなわちフラットに編成するか、学力を指標とした「選抜」的なクラス編成をするか、という新たな課題が持ち上がったのである。

平成16年度12月の教育課程委員会は、この課題解決を巡って議論はまさしく水掛け論になり、暗礁に乗り上げる状況に陥った。この難題に対して、筆者は「ボトムアップ」を絵に描いた餅(理念)の掛け声ではなく、学校改革上においては効率(国公立大学合格者増)を高めるための手段でもあると分析して資料を作り、その解決を図った。その資料において教員が一枚岩になって生徒の学力を「ボトムアップ」していくことが現教育課程の生命線であると訴えつつ、この3学年のHR編成問題に対しては、指標(学力、進路希望)を設定して、クラス編成することを提案したのである。

生徒たちは「ボトムアップ」されているかどうか、その検証は教育課程評価の要であった。そのデータとして、模擬試験の結果(全国偏差値)、大学入試センター試験受験者数、4年制大学への進学率、3学年の模試受験者数、生徒へのアンケート調査の結果などを用いて、分析、検証した。本稿では、紙面の関係からその掲載を控える。

#### 4-4-2 日本の選抜メカニズム

荒川は、日本の選抜メカニズムを説明した集大成とも言える本として、「日本のメリトクラシー」(竹内, 1995)を取り上げ、その研究成果から以下の点をあげている(pp.18-21)。

① 日本の高校や大学、企業における選抜・配分構造の特質として「傾斜的選抜・配

分システム」、「層別競争移動」があり、日本の高校や大学では、トップランクから一番下のランクまでが、きれいに偏差値の輪切りになった傾斜的選抜システムを形成している。こういう状態であると、偏差値のどこにあっても均等に加熱されやすい。たとえばT大学でなくても、一段下のU大学なら入れるかもしれないと、層別の競争を生む層別競争を引き起こしやすい。

- ② このような層別競争移動は企業の昇進パターンにも見られる現象であり、絶え間なく傾斜的選抜・配分システムおよび層別競争移動が働いている日本においては、メリトクラティックな競争(役割・地位をめぐる一義的な能力競争)から降りず縮小—再加熱が絶え間なく行われているのが一般的である。
- ③ Goffman, Clark の冷却概念を発展させ、縮小(クーリングダウン)、冷却(クーリングアウト)、再加熱(リウォーミングアップ)、代替的加熱(ウォーミングイン)の4つの冷却・加熱の類型を提示した。
- ④ 日本は受験から就職、昇進まで「傾斜的選抜・配分システム」や「層別競争移動」によって、入れ替えや敗者復活で絶えず競争状態を作り出し、ノン・エリートまで競争から降ろさせないため、人々が選抜の後にもメリトクラシーの価値から降りず、縮小(クーリングダウン)、再加熱(リウォーミングアップ)が作動することこそ、日本のメリトクラシーの特徴である。

#### 4-4-3 「ボトムアップ」を掴む

##### (1) 対象の分類

この4つの冷却・加熱の類型を用いると、「ボトムアップ」は「クーリングダウン」と「クーリングアウト」への働きかけであると、分けて実態を把握しようとする視点が生まれる。ただし、生徒を厳密にこの2つの状態に分類することはできず、実態としてはどちらの要素が混じりながら、学びから逃走しているのだろう。あくまでも、この分類は机上のものであり、実態把握のための手段である。

そして理屈としては、「クーリングダウン」していく生徒層に対しては、再加熱しながら「ボトムアップ」させ、「クーリングアウト」していく生徒たちには、メリトクラシイ的価値観への引き戻しを図りながら「ボトムアップ」していかなければならない、ということになる。

##### (2) 習熟度別授業は万能か

この観点に立つと、2学年文型の数学の授業を習熟度に分けて実施するかどうかの議論に対して、次のような論じ方ができる。

2学年文型の数学の授業では、数学不得意層や学習からの忌避層が厚く、さらに大学等の入試科目として不必要となることから徐々にモチベーションが低くなってしまふ。そのような状況から、上位生徒の学力を伸ばすためにも、習熟度別授業を取り入れるべきであるとの意見がある。

A校の教育課程は類型によらず2学年全員に数学Ⅱ(4単位)と数学B(2単位)を必修として課している。1学年のうちに習熟度別授業に慣れてきた生徒にとって、2学年になりクラス授業になると、上位層を意識して授業のレベルを中の上くらいに合わ

せることから、下位層が悲鳴を上げてくる。しかししばらく双方(教える側と教えられる側)が我慢して続けていくうちに、生徒は何かついてくるものである。それは成績下位生徒が、成績中・上位層に引っ張られて、モチベーションをそれなりに維持して、あきらめずに低空飛行ながら墜落せずに、1年間学んでいくのである。

数学Ⅱと数学Bを学び切ることは、文型生徒にとって、進路目標の幅を広げるなど個人のメリットは大変大きい。いかに低学年のうちに基礎学力をつけさせるか、それは「クーリングアウト」させずに、踏ん張らせるか、さらに「クーリングアウト」しながらも、徐々にメリトクラシイ的価値観へ引き戻すことができるのか、それに優れた方法を採用しなければならない。

2年文型への習熟度別授業の導入は、下位層を固定し、彼らの学力ばかりだけでなく主体的な学びへの意欲を下げ、「クーリングアウト」したままになる生徒を増やすことにならないかの懸念がある。

#### 4-5 進路指導の実践に対して

##### 4-5-1 「ボトムアップ」を支える進路指導の実践

平成18年度入学生に対して、学年が主体となり実践をした共通の項目は、朝やLHR(総合学習)を利用して、低学年からの「ボトムアップ」を意図して、学習や進路に関する生徒への働きかけを地道に実施してきたことである。筆者は、平成18年度入学生の担任(分掌は進路指導)として3年間、教育課程の理念に沿うことを意図して、学年主体の実践を企画し運営した。それは学年全体の学力と主体的な学びへのモチベーションを面(集団)として高め、タイムリーな

意図(進路指導)の中で自らの進路について考えさせて、進路目標の達成に向けて自ら努力していく生徒の育成(成長)や学年の雰囲気を高じさせる仕掛けであった。ここで全ての実践の内容を記すことはできないものの、表2に各学年における指導方針と、表3に1,2学年での具体的な実践項目をまとめた。

#### 4-5-2 教育実践から教育学研究への批判(ラフスケッチ)

表2において、1学年の進路指導の方針が「職業や生き方を考えさせる。自分は何になりたいのか、そのためにはどのような進路実現の方法があるのか、いくつかの方法があるとしたらどの方法を選ぶのか(基準は何か)、進路実現の仕組み(外)と自己を知る(内)ことを目標とし、進路目標の具体化については2学年の秋くらいまでの目標とする」とあるように、私たちは、低学年のうちから「夢追い型」の進路指導の実践を取り入れてきた。それは生徒の学力を引き上げる(ボトムアップ)実践の一環でもあった。すなわちA校における「夢追い型」の進路指導は、それ自体を目標として推進していくというよりも、生徒が学びから逃避しないように、学習への意欲を高めるための仕掛けとしてであったり、生徒との会話のネタにして日頃の生活指導に活かすなど副次的な効果をねらって、といった手段としての「夢追い型」進路指導である。

荒川が「(改革実施の)最も下位のC高校では、受験に向けた教育がほとんど行われず、生徒に将来を考えさせ、そのまま放任する教育—「夢追い」型の指導—が見られた」(p.177)や「改革実施学科・コースは卒業

後就職が困難な専門学校(「服飾・家政」,「文化・教養」)も許容している様が見てとれた」(p.175)などのデータを元にして、「そのような社会的要因の変化があっても、依然として生徒の進路形成の有り様は、学校の学習指導,進路指導に大きくゆだねられており、学校が、そのようなASUG職業を、容認する姿勢をとらなければ、ここまでASUG職業希望者は増えなかつただろう」(pp.181-185)と結論づけることに、違和感を覚えるのは、きっとC校においても改革実施のためだけではなく、A校のように進路指導を主体的な学びのモチベーションを高めたり、「クーリングアウト」を引き留めるために、さらには生徒を学校につなぎ止めておくための実践として有効だからではないかと、推察するからである。そういう感覚から、「『高校』というシステムとそれをめぐる社会が持つ不可避な条件の中で、教師はやむをえず、状況に応じた指導を行っているのである」(p.31)と気遣いされると、高校現場はそれほど受け身ではない、と反発したくなるのである。

この「批判」は、とてもラフな論考である。今後の課題としたい。残念ながら、ここで脱稿とする。

#### 引用・参考文献

- 荒川葉(2009)『『夢追い』型進路形成の功罪—高校改革の社会学—』東信堂。
- 荒牧草平(2003)「現代都市高校におけるカリキュラム・トラッキング」日本教育社会学会編『教育社会学研究』第73集。
- 内田樹(2007)「下流志向 学ばない子どもたち、働かない若者たち」講談社。
- 竹内洋(1995)「日本のメリトクラシー」東

京大学出版会。  
竹内洋 (2008) 「学問の下流化」中央公論新  
社。  
椿達 (2005) 「教育課程編成における教務主

任の役割について－実践報告→研究の  
いとぐちを探しながら－」日本高校教育  
学会第 13 回大会研究発表。

表 1 教育学研究が明らかにしてきたトラッキングのメカニズム

		要点①	要点②
入 学 前 効 果	チャー ター効 果	学校が持つチャーターが極めて可視的 な教育システムにおいては、学校に参入 する前に進路に関するかなりの社会化 が起きている。つまり、生徒は、高校入 学以前にすでに、どこの高校に入れそう かで、その高校のチャーターを読みとつ てしまい、その高校卒業後可能な進路に 対して予め到達可能な進路を予見して しまう (Kamens1981)。	生徒たちは学校に内在する社会化経験に応 じてよりもむしろ、その教育機関が、ある属 性を備えた人間を作り出しても良いという 社会的に承認された免許 (=チャーター) を 保持し、それが社会化に影響を及ぼしてい る (Meyer1970)。 チャーターの構成要素 1) 過去の卒業生が示してきた進路・職業 的地位 2) それについて社会一般のもっている印 象・通念 3) 卒業生が特定の進路・地位についても 当然であるという正当性
入 学 後 効 果	差別的 教授効 果	入学してくる生徒の学力は、各トラック で異なっており、教授ペースの差異を生 む。結果として、履修内容自体にトラッ クによる差が生じることになる。	進学校では教授ペースが加速され、進学に 容易な知識の習得が可能になる。非進学校 ではそうした知識が提供されることは少な い。トラッキングはこれらの教授=学習過 程を日常化されることによって、生徒の学 力や進学意欲の分化を促すというものであ る。
	差別的 友人効 果	同じトラックに配分される生徒は一緒 に行動するうち、価値観・行動様式を同 じにする <b>peer culture</b> を形成するようにな り、トラック別に異なる下位文化が形 成される (耳塚・岩木 1983)。	上位トラックには向学校的な文化が、下位 トラックには反学校もしくは脱学校的な文 化が創られる。トラッキングは同質集団を 創出し、各トラックに応じた社会化をする ことで、トラッキングの選抜機能を補完し ている。
	差別的 烙印効 果	トラッキングはレッテル貼りの過程を 伴う。教師や生徒の期待を経ないまで も、直接生徒に何らかの心理的効果をも たらす。	特に地位分化の明瞭なトラッキング構造の 下位トラックへの振り分けは、生徒の自尊 心・学校規範へのコミットメントを侵害す るレッテルとして作用する。

荒木葉 『『夢追い』型進路形成の功罪』東信堂, pp.15-17 を引用し, 作表した。

表2 進路指導の方針（平成18年度入学生）

第1学年	第2学年	第3学年
<p>(1) 方針</p> <p>① 職業や生き方を考えさせる。自分は何になりたいのか、そのためにはどのような進路実現の方法があるのか、いくつかの方法があるとしたらどの方法を選ぶのか（基準は何か）、進路実現の仕組み(外)と自己を知る(内)ことを目標とし、進路目標の具体化については2学年の秋くらいまでの目標とする。</p> <p>② 上級学校への進学について、何のために進学するのかをしっかりと考えさせたい。どんな学問を学び、研究するために進学するのか、調べさせ、答えさせたい。</p> <p>③ どのような進路を選ぶにせよ、基礎学力をがっちり付けさせたい。特に「読み・書き」に対して、量や習慣を強く生徒に求めていく。</p> <p>④ 全体としてのボトムアップ、個人としての土台作りを目標とし、学習指導と生徒指導とともに、学校側の指導に乗せていくようなアプローチをとる。</p>	<p>(1) 2学年進路指導の方針の考察</p> <p>① 高校生にとって進路実現におけるポイントは3学年ではなく、高校2学年の1年間をどう過ごすかにあり、こちら側の指導のピークもここにある。</p> <p>② A校の学問(受験)教科中心の教育課程がトップダウンのアプローチ(葉に栄養を与える)に偏っていることから、総合的な学習やLHR・学校行事などの特別活動においてボトムアップ的なアプローチ(根・枝を豊かに育てる)を意図しなければならない。</p> <p>③ 高校2年の前半は、見えない学力部分の成長を促進するような働きかけ(仕掛け)を講じたい。年間を通じて、昨年度の指導継続の中で、進路希望の具体化を進めさせたい。</p> <p>(2) 方針</p> <p>1学年の方針①～④を継続し、次の一項目を追加した。</p> <p>⑤ (新規)                  “「実行」・「読み+書き」・「選択」 = ARC ( <b>a</b>ction, <b>r</b>eeding + <b>w</b>riting, <b>c</b>hoice)” をコンセプトとした進路指導の実践する。ボトムアップ的なアプローチにより見えない学力(根・幹の学力)を豊かに大きくすることを意図するプログラムを実施する。</p>	<p>(1) 方針の考え方</p> <p>① 発想としては「卒業式を『出発式』にしよう」である。新たな進路先における仕事・学業・生活の基盤を支えることのできる豊かな資質をこの1年間かけてしっかりと育みたい。進路目標達成が我々のゴールではない。</p> <p>② しかしながら、生徒一人一人の進路目標を達成させることが、本人・保護者・地域を含めてのA校の課題である。その課題に対して、全生徒の進路ニーズを受け止め、面としての指導を連携や協働の中で、進めたい。</p> <p>③ 知識基盤社会を生きるという観点から、受験に必要なかどうかではなく、A校生としての基礎学力をしっかりと付けさせて、送り出したい。(ボトムアップ)</p> <p>④ 社会との接続という観点から、基本的なマナーやモラル、思いやりや気配りなど人としての暖かさなどを、しっかりと育て、送り出したい。(生徒指導の仕上げ)</p> <p>⑤ 今までの進路指導の流れを踏まえて、「本質」や「過程」を大切にしたい。一人一人に自己の限界にチャレンジするような努力をさせたい。(努力主義・過程主義)</p>

表3 平成18年度入学生の1・2学年に何を実践したか(一覧)

	平成18年度(1学年)の実施状況	平成19年度(2学年)の実施状況
進路希望調査	2回 4/19,2/21	3回 4/25(新担任把握), 9/26(進路対応), 2/6(具体化)
適性検査 模擬試験	進路適性検査 5/17 スタディサポート 4/15 進研模試 7/11,1/20	スタディサポート(チャージ回収) 4/10 進研模試 4回実施 7/14,11/3,1/26, 2/2 看護・公務員 2/2
ガイダンス	進路オリエンテーション 6/7 進路講演(就職について)11/8	進路オリエンテーション 3回 6/15: 国公立,私立,専門学校,就職 11/7: さらに分野を分けて 3/12: 合格体験談
進学講習	夏休み(英数国×7回) 秋(英国数×3回) 冬休み(英数国×7回) 春休み(英数国×5回)	GW明け(英国数×3回) 夏休み(英数国×7回) 秋(英国数×3回) 冬休み(英数国×7回) 春休み(英数国×5回) 数学朝講習(12月6日から開始 7:45~8:05)
進路学習 (LHR)	進学して何を学びたいか考えてみよう 9/6 進学先の種類や違いについて知ろう 9/27 入試概論・A校の推薦基準について 10/11 受験科目を確認する 10/18 社会問題から職業・学問を考えてみよう(小論文) 11/22	A R Cの実践 A) 「春の学校川柳大賞」応募(北海道新聞社主催) B) エッセイ「17歳からのメッセージ」応募(大阪経済大学主催) C) エッセイコンテスト応募(東洋大学主催) D) ドリカムプラン
学習計画記録	3回(GW,夏休み,冬休み)	2回(GW,夏休み)
定期考査の反省	2回(前期期末考査,後期中間考査)	3回(前期中間・期末,後期中間)
朝 dog <sup>2)</sup>	8:25~8:30  ① 趣旨を改めて伝え,意義を納得させる。 ② 今年度は8:20から自主的にスタートしよう。8:25のチャイム時に教室内外での立ち歩きや話はルール違反である。	次の観点をスタート時にしっかりと生徒に呼びかけ,実質的な一枚岩の指導を継続したい。  ③もしも部活の朝練習で遅れたならば,後ろから静かに教室に入ること。

2) 朝のSHR前の5分間を,読書(d) or 学習(g)の時間とした。生徒は自主的に8:25に着席して,読書か学習をすすめる。A校で初めての試みであった。付加価値として,遅刻が激減した。

## 〈論文〉

## バイオマス海藻の流動シミュレーションモデル

古川正志\* 小川純† 山本雅人‡ 渡辺美知子§ 澤井秀\*

## Water Flow Modeling and Simulation on Biomass Seaweed

Masashi FURUKAWA\* Jun Ogawa† Masahito YAMAMOTO‡  
Michiko WATANABE§ Suguru SAWAI\*

## 要旨

本研究では、物理モデラーを用いて水中環境に海藻モデルを作成し、流体の時系列変化から得られる物理シミュレーションを実施し、海藻モデルの挙動が海藻の物理性質及び流体力に従った流動を実現できることを提案する。また、複数の海藻モデルを配置し流動シミュレーションを行い、海藻挙動の遷移とそれを構成する要素の剛体接触数、累積ちぎれ回数の時系列変化を示し、水中環境における海藻の絡みやちぎれについて考察し、海藻培養における提案シミュレーションモデルの有効性を示した。

## Abstract

This study establishes dynamic modeling of seaweed and water environment toward algal cultivation development from a viewpoint of artificial life (A-Life). The algal cultivation has been attracted in term of future energy production. We model the virtual seaweed and the environment using physics engine PhysX. PhysX can execute dynamical simulation based on physical calculation. The morphology of seaweed is determined by Lindenmayer system. Three properties of seaweed, such as tear, adhesiveness and twist, are artificially introduced into the seaweed model. The water environment is constructed by modeling buoyancy, drag force and water flow. The water flow is generated by lattice Boltzmann method (LBM) known as one of fluid analysis methods. In order to verify the behavior of seaweed, two fluid simulations are executed for a plant and eight plants of seaweed. As a result, the proposed simulation method is useful to realize seaweed's adhesion, tear, and twist phenomenon in a water pool.

## キーワード

バイオマス海藻 物理モデリング 水流シミュレーション 人工生命

\*北海道情報大学経営情報学部システム情報学科教授, Professor, Department of Business and Information Systems (Dept. of BIS), HIU

†北海道大学情報科学研究科学術研究員, Post-Doctorial Researcher, Department of Information Science and Technology (Dept. of IST), Hokkaido University (HU)

‡北海道大学情報科学研究科教授, Professor, Dept. of IST, HU

§北見工業大学機械工学科准教授, Associate Professor, Department of Kitami Institute of Technology

## 1 緒 言

近年、地球のグローバル化に従い、膨大なエネルギー供給が必要とされ、将来的な化石エネルギー生産に対する危機意識が強まり新たな非化石エネルギーが強く望まれている。そうした中で、海藻は海水中で光と CO<sub>2</sub> を取り込み、エネルギー回収効率の高い光合成を行い、陸上植物に比べて速い成長速度を持つため注目を集めている。更に、海藻は水質の善し悪しを問わないため、環境への適応性が高く、汚染廃水を浄化しバイオエネルギーへ転換する生態機能を有している。これらの利点を生かして、海藻培養をバイオエネルギー開発、CO<sub>2</sub> 排出量削減や水質浄化などの工業的用途「Fei, *et al.* (1999)」、 「Fei (2004)」、 「Yokoyama *et al.* (2007)」で利用する目的的研究開発が取り組まれ始めている。

海藻培養における研究として、培養液中に高濃度の CO<sub>2</sub> を溶解させ貯留しておく CO<sub>2</sub> 固定化技術の開発「Hirata *et al.* (1996)」や培養海藻に光エネルギーの効率的供給を実現するフォトバイオリクターの機材開発「Zxijffer *et al.* (2010)」、海藻の光合成における最大光吸収率の解析「Ugwu *et al.* (2008)」、海藻から生産されるバイオオイルの純度や効能について調査しエネルギーの工業的有用性の検証「渡邊信 (2010)」、下水道における海藻の浄化処理を利用したエネルギー変換技術の開発「Lam *et al.* (2011)」などが挙げられる。現在の研究成果では、海藻のバイオオイルが自動車の燃料として可能なことが報告されている。

しかしながら、実験的に実際の海藻を用いて多種の培養条件下における生態能力調査「Li *et al.* (2011)」や光合成効率を最適化する環境を構築するには多大な培養コストを要し、将来的にエネルギー供給を

担うような大規模培養を実現する制御技術の開発が望まれている「Pang *et al.* (2003)」。これを解決するためには、地球上と同じ仮想空間となる環境において培養シミュレータを実現し、培養コストを軽減した制御技術の開発が必要とされる。

一般的に用いられている海藻培養環境では、培養水を水槽内部で循環させ、海藻に流動力を与えて環境となる空間全体に海藻を浮遊させ、光合成による成長速度を上昇させている。このような環境の三次元空間においては高密度培養が可能となるが、成長にともない藻同士が密に接するようになり、藻間での絡みやからみによるちぎれといった現象が生じる。

また、大量の藻が絡み合うと光合成器官が他の藻により覆われてしまい光合成が行えなくなり、成長の阻害が生じる。従って、絡みやちぎれなどの藻の物理的挙動によって引き起こされる現象を解明し、これらを回避する制御技術が必要である。

本論文では、人工生命(Artificial life, A-life)の視点から、海藻培養において起こりうる物理現象を解析・予測するため、物理エンジンを用いた人工海藻と培養環境の仮想水中環境内での藻の動きをシミュレーション可能とする動的モデリングを提案し、その有効性について報告する。

物理エンジンは仮想空間内に配置された物体に対して物理法則に基づく力学演算を適用し、地球環境内での力学的な動的シミュレーションを可能とするソフトウェアである。この物理エンジンは、力学的な運動方程式を計算する他に、重力、摩擦力などの地球上の基礎的な環境に於ける力はサポートするが、流体からの影響力などについては別途独自に実装する必要がある。動的な海藻モデルの動きを実現するには、物理エンジンに独自にちぎれ、粘着力及び絡みのモデルをコーディングし、海藻の物理特性を導き出す必要がある。また、

流体運動の数値シミュレーションにより発生する流れから浮力と流体力学の分野で経験的に知られている抗力を物体に加えた海藻水中環境を構築する必要もある。

本研究では、上記のモデル化に基づく水中環境に海藻モデルを作成し、流体の時系列変化から得られる物理シミュレーションを実施し、海藻モデルの挙動が海藻の物理性質及び流体力に従った流動が実現可能なことを検証する。また、複数の海藻モデルを配置し、それらの流動シミュレーションに基づいて、海藻挙動の遷移とそれを構成する要素の剛体接触数、累積ちぎれ回数の時系列変化を示し、水中環境における海藻の絡みやちぎれについて考察し、海藻培養における提案モデルの有効性を示す。

本論分の構成は次の通りである。2章では L-システムによる人工海藻の形状決定の方法、海藻の特性となる力と流体からの影響力のモデル化の方法について述べる。3章では水流のモデリング方法を構築する方法を述べる。4章において、構築した水中環境における人工海藻の挙動シミュレーション実験の概要を示した後、実験結果とその考察を述べる。5章で結論を述べる。

## 2. 海藻のモデリング

### 2-1 L-システムによる海藻の形状モデリング

L-システム (Lindenmayer system)は特定のパラメータ集合と置換規則を定義し、それらを再帰的に適用することで、自然物の構造決定過程を文字列として表現するアルゴリズムである。このアルゴリズムの特徴は、細胞の分裂や成熟など単純な規則から複雑な生物へ成長過程のコンピュータ解析を容易とし、自然な海藻の形状を再現する方法として適している。Corbit ら「Corbit *et al.* (1993)」はすでに紅色植物

門の藻類の形態構造と発展過程を定義し、コンピュータシミュレーションにより 2次元平面上で表現する研究を実施している。そこでは L-システムによる現実の海藻の高い再現性が示されている。Sen ら「Sen *et al.* (2005)」は L-システムやセルオートマトンなどの再帰的手法を用いた樹木モデリング手法を提案しており、外部環境との相互関係を考慮モデルによる樹木が環境によって成長プロセスに与えられる影響力が報告されている。

多くの場合、緑藻や紅藻類の培養海藻に現れる線状で細い枝や茎が成長していく形状生成に関しては、L-システムの置換規則の設計・適用によりそのほぼ全ての生体構造の記述を網羅することが可能である。

本研究では、海藻の成長モデルを L-システムを用いて以下のように定義する。

$$G = (V, S, \omega, P) \quad (1)$$

ここで、

$$V = \{A, B, C\}$$

$$S = \{D, E\}$$

$$\omega = A$$

$$P: (A \rightarrow EBA), (B \rightarrow C), (C \rightarrow D)$$

である。Vは変数となる文字列、Sは普遍定数、 $\omega$ は初期状態、Pは文字の置換法則を表す。海藻モデルでは、図 1(a)に示す4つの形状で示される剛体球を3自由度のジョイントで接合して作成し、L-システムにおける文字要素 A~E に対応させる (AとEは同じ形状をもつ)。モデルは3次元空間に剛体集合 A を初期状態として配置し、置換規則に応じて図 1(b)の剛体集合の置換を行う。全ての剛体集合に対して置換が終了した時点で、海藻は1段階成長するものとする。初期状態から3段階まで再帰的に成長(世代交代)させた海藻モデルの成長過程を図 1(c)に示す。シミュレーションには図 1(d)の L-システムを3世代適

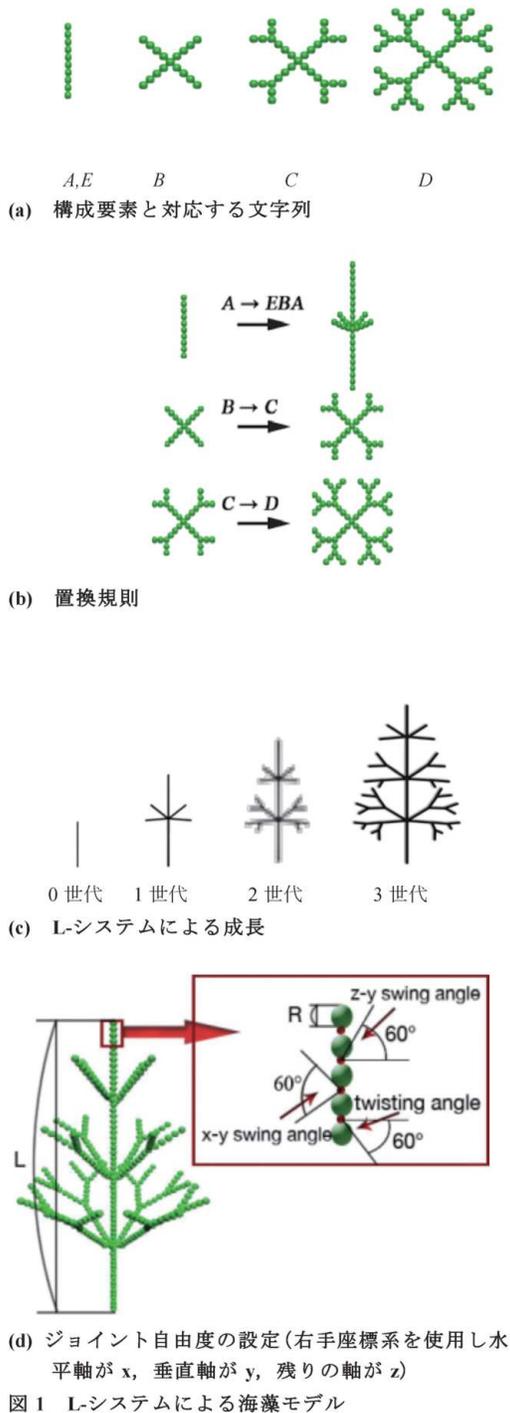


図1 L-システムによる海藻モデル

用して得られる海藻モデルを用いる。(1)式に初期条件及び置換規則を再帰的に適用して構成したモデルは、モデルの剛体部分に対してのみ力学計算を適用する。このように構成したモデルにより、擬似的に弾

性体のように高速かつ高精度な力学的計算を可能とできる。また、L-システムにおける海藻の成長規則を変更することで様々な種類の海藻の形状モデリングが可能となる。

## 2-2 海藻の物理性質

本研究では物理エンジンとして PhysX 「NVIDIA (2012)」を採用する。PhysXにはジョイントに働く外力とトルクの限界値を設定でき、限界値を超過することで接合機能を停止させ、接合機能を失わせるジョイントを作成できる。このジョイントを用いた人工海藻をモデリングし、ちぎれ現象をモデル化した。ちぎれ発生判定を(2)式の $J$ により行う( $True$ がちぎれ発生を示す)。

$$J = \begin{cases} True : |F| > F_c \text{ or } T > T_c \\ False : \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $F$ 、 $F_c$ はジョイントに加わる負荷とその許容値、 $T$ 、 $T_c$ はジョイントに加わるトルクとその許容値を示す。 $F$ 、 $T$ はそれぞれ3次元ベクトルであり、判定に用いる値はその絶対値 $|F|$ 、 $|T|$ である。ちぎれの概念図を図2.(a)に示す。

多くの海藻は特有の粘着性のある膜を有しており、その膜の粘着の度合いは海藻の種類により異なる。この膜による粘着力は他の物質への付着現象を起こす。海藻同士が水中で接触した際に、互いに引き付けあう性質は、粘着力による相互作用の結果と予想される。従って、海藻の粘着力 $F_i$ を固有の粘着度を考慮した疑似クーロン力により表現し、その大きさ $F_i$ を(3)式で計算する。

$$F_i = \begin{cases} k_A \sum_j \frac{M_i M_j}{r_{ij}^2} : r_{ij} < r_t \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

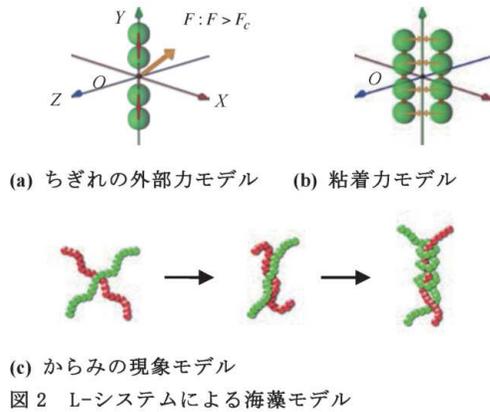


図 2 L-システムによる海藻モデル

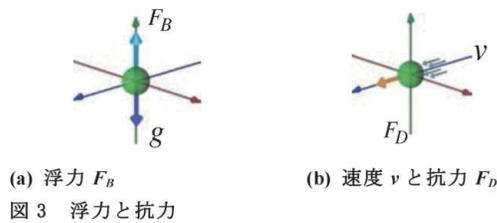


図 3 浮力と抗力

ここで、 $i$  は粘着力が働く海藻の個体、 $j$  は  $i$  の粘着の影響範囲ある海藻の個体、 $k_A$  は海藻特有の粘性係数、 $M_i$  と  $M_j$  は海藻のモデルに使用した剛体質量、 $r_{ij}$  は剛体間距離、 $r_t$  は剛体間距離の閾値である。  $k_A$  は海藻の粘着度を示し、粘着力は 2 剛体間距離  $r_{ij}$  が一定の閾値の距離  $r_t$  以内であるときのみ作用する。海藻は剛体球で構成されるため距離  $r_{ij}$  は剛体球の直径より大であり、粘着力は接触後に二度と離れなくなる癒着状態が生じないようにその上限を設定する。粘着性の概念図を図 2 (b) に示す。

絡み現象は海藻の空間移動の結果として生じるトポロジ的な位置関係である。絡み現象の検出は 3 次元空間における複数の海藻の位置関係とそれらの移動状況を把握する必要がある、厳密な計算モデルの作成が困難である。そこで本研究では、海藻の流動、粘着、接触という単純な物理的性質を用いて、図 2 (c) に示すように 2 海藻間の剛体球の接触数を計数し、接触数が一定以上に増加した時に起因する現象

として取り扱う。

### 2.3 浮力と抗力

流体からの影響力は浮力、抗力、揚力、せん断力、渦抵抗などがある。本研究では揚力、せん断力、渦抵抗は微弱で計算量も多いため考慮せず、人工海藻の流動を抗力と浮力のみを使用して行う。水流の流体運動の解析手法である格子ボルツマン法をこれらに組み合わせることで海藻周囲の流体運動の状態変化を考慮でき、精度の高い海藻の流動が解析可能となる。

浮力はアルキメデスの原理により、図 3. (a) に示すように水中の物体の中心に流体の密度に比例した鉛直上向きの力として働く。その大きさ  $F_B$  は (4) 式により計算される。

$$F_B = \rho V g \tag{4}$$

ここで  $\rho$  は液体の密度、 $V$  は物体の体積、 $g$  は重力加速度である。

流体中における物体に働く抗力は、物体周囲の流体速度と移動ベクトルとの相対ベクトルの 2 乗に比例する力として計算され、その向きは物体の進行方向の逆向きである。抗力  $F_D$  とするとその大きさは (5) 式により求められる「松尾一泰 (2007)」。

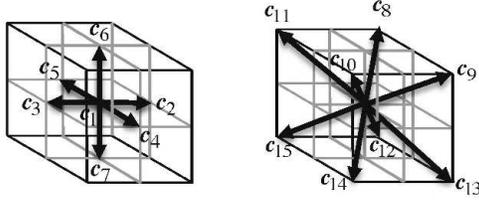
$$F_D = \frac{1}{2} C_D A \rho v^2 \tag{5}$$

ここで、 $\rho$  は液体の密度、 $A$  は抗力を受ける物体の抗力に垂直な面への投影面積、 $C_D$  は物体固有の抗力係数、 $v$  は物体と流体との相対速度である。

## 3 水中環境のモデリング

### 3-1 セルオートマトン

格子ボルツマン法の理論的な基礎は、セ



(a) 粒子速度  $c_1 \sim c_7$  (b) 粒子速度  $c_8 \sim c_{15}$   
 図4 15粒子モデルの格子内の粒子速度

ルオートマトンに基づく計算モデルである。セルオートマトンとは時間、空間、状態変数の全てをセルという格子で離散化し、セルに対し単純なルールを適用する。

セルオートマトンは自然物の構造や自己増殖機能、計算理論などの広い分野で研究されている。その理由は、モデルは単純であるが、離散化されたデータをコンピュータで容易に扱うことが可能、ルールの変更により様々な結果を生成可能、複雑系におけるパターン形成、自己組織化などに内在する特徴を実現可能、等が挙げられる。

### 3.2 格子ボルツマン法

セルオートマトンを基礎とし流体運動を粒子分布の時間発展から表現する手法として提案されたのが格子ボルツマン法 (Lattice Boltzmann method, LBM) である [Hou et al. (1985)], [Chen et al. (1998)], [Macnamara et al. (1988)]. LBM は数値流体力学の分野で使用される流体の数値解析方法の一つである。

この方法は空間を規則的な格子で一様に分割・離散化し、格子内に定めた一定数の粒子運動に基づいて、連続体としての流体運動をシミュレートする。空間を離散化する作業は格子生成と呼ばれ、解析領域の次元と格子の種類によってその格子生成法は異なる。各格子内には、複数の粒子速度を定める。本研究ではよく使用される 15 速度モデルを採用する。すなわち、図4に示すように、格子内の粒子速度 ( $c_i; i=1, 2, \dots, 15$ ) を

$$c_i = \{(1, 0, 0), (\pm 1, 0, 0), (0, \pm 1, 0), (0, 0, \pm 1), (\pm 1, \pm 1, \pm 1)\} \quad (6)$$

の様に設定する。

座標  $\mathbf{x}$  及び時間  $t$  における速度  $c_i$  をもつ仮想粒子の速度分布関数  $f_i(\mathbf{x}, t)$  は、次の離散ボルツマン方程式に従う<sup>7)</sup>。

$$f_i(\mathbf{x} + c_i \Delta t, t + \Delta t) = \frac{\lambda - 1}{\lambda} f_i(\mathbf{x}, t) + \frac{1}{\lambda} f_i^{eq}(\mathbf{x}, t) \quad (7)$$

ここで、 $f_i$  は  $i$  方向の粒子における実数値の粒子分布、 $\lambda$  は単一時間緩和係数であり、衝突を繰り返し移動する粒子は一定割合で平衡状態へと収束する。 $f_i^{eq}$  は局所平衡分布関数 (local equilibrium distribution function) と呼ばれ、平衡状態へと遷移するような粒子分布関数である。この関数は以下の(8)式で表せられる。

$$f_i^{eq}(\mathbf{x}, t) = E_i \rho \left[ 1 - \frac{3}{2} \mathbf{v}^T \mathbf{v} + 3 c_i^T \mathbf{v} + \frac{9}{2} (c_i^T \mathbf{v})^2 \right] \quad (8)$$

但し、

$$E_i = \begin{cases} \frac{2}{9} & : i=1 \\ \frac{1}{9} & : i=2, \dots, 7 \\ \frac{1}{72} & : i=8, \dots, 15 \end{cases}$$

である。(8)式において、 $\rho$  と  $\mathbf{v}$  は格子内の流体の巨視的変数であり、速度分布関数  $f_i$  を用いて以下の式で定める。

$$\rho = \sum_i f_i \quad (9)$$

$$\mathbf{v} = \frac{1}{\rho} \sum_i c_i f_i \quad (10)$$

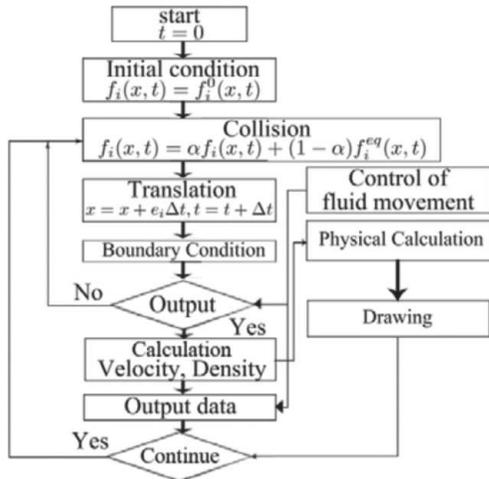
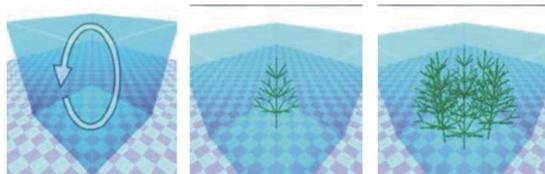


図 4 LBM による水流の計算アルゴリズム



(a) 実験水流 (b) 単一海藻 (c) 8本の海藻  
図 5 シミュレーションに用いた実験環境

### 3.3 境界条件

流体運動の解析には、壁面や障害物に対する流体運動の変化を計算する境界条件も考慮する必要がある。本研究では  $i$  方向の粒子が壁面に向けて衝突する場合、その時点での  $i$  方向の粒子分布を次ステップにおいて  $i$  方向の格子点対称となる方向の粒子分布を割り当てる (bounce back) 条件を採用する。例えば、図 3 において左側面に壁が存在する場合、以下のように設定する。

$$\begin{aligned} f_3(\mathbf{x}, t + \Delta t) &= f_2(\mathbf{x}, t) \\ f_{10}(\mathbf{x}, t + \Delta t) &= f_{12}(\mathbf{x}, t) \\ f_{11}(\mathbf{x}, t + \Delta t) &= f_{13}(\mathbf{x}, t) \\ f_{14}(\mathbf{x}, t + \Delta t) &= f_8(\mathbf{x}, t) \\ f_{15}(\mathbf{x}, t + \Delta t) &= f_9(\mathbf{x}, t) \end{aligned}$$

障害物に対しても同じ取り扱いを行なう。

表 1 実験条件

Virtual Seaweed	
Number of rigid bodies	340
Radius of rigid bodies	0.5 m
Density	1000 kg/m <sup>3</sup>
Restitution coefficient	0.05
Force limit value of joints	10 <sup>4</sup> N
Torque limit value of joints	10 <sup>6</sup> N · m
Adhesiveness coefficient	5000
Water Environment	
Gravity acceleration	9.8 m/s <sup>2</sup>
Liquid density	1040 kg/m <sup>3</sup>
Drag coefficient	1
Relaxation frequency	0.53

### 3.4 計算アルゴリズム

LBM の計算アルゴリズムを図 4 にフローチャートとして示す。全格子の粒子分布を均一に設定し流体状態を初期化する。その後、任意の粒子分布の偏りと境界条件に従い、粒子分布の再配分計算を行う。再配分後の粒子分布を計算するために現在の粒子分布から各格子における流体密度と流体速度を求め、その結果を基に得られる局所平衡分布関数値を導出する。再配分された粒子分布を現在の粒子分布として更新し、同様の操作を繰り返すことで流体運動を解析する。なお、分布関数の更新式である (6) 式の右辺の係数は、フローチャートでは  $\alpha$  と置き換えてある。

本研究では LBM により壁に対応する格子における粒子分布のみを操作することで水流を発生させ、剛体の重心が存在する格子における流体速度を物体周囲の流体速度として求める。その後、求めた流体速度と物体との相対速度を (5) 式の抗力計算に適用している。

海藻のモデル要素である剛体の抗力を計算する(5)式の投影面積  $A$  は、格子内に隣接する剛体が存在する場合、以下のように行なう。最初に格子内の剛体の球の投影面積を計算し、速度方向に手前のものは球全体の投影面積採用し、次に速度方向にあるものは、手前の剛体との投影面積との重なり部分を削除する。これを順に実行する。なお、抗力の作用点は、剛体の球が十分に小さいため近似的に重心に作用させる。

## 4 人工海藻の流動シミュレーション実験

### 4-1 実験方法

実験の目的は、水中環境の粒子分布を変化させて水流を作製し、その時の流動シミュレーションを行い、その挙動の時系列変化及び海藻特性を検証することで、提案する人工海藻の動的モデリング方法が海藻の挙動解析が可能であるとの有効性を示すことである。

実験は水中環境に単一の人工海藻を配置した場合と、8本の人工海藻を環状に配置した場合の2通りの条件について90秒間の海藻流動シミュレーションを行い、その挙動の遷移過程と海藻の累積ちぎれ回数及び海藻の接触数の時系列変化を調べる。

異なるモデルの配置数による実験を行うのは、まず単一の人工海藻が抗力、浮力及び海藻の物理性質を力学計算に基づいた流体の流れに従うような流動を示すことを明らかにするためである。その上で複数の海藻の性質について観察する。

シミュレーションにおける PhysX のレンダリング積分の離散時間は 1/60 秒とした。なお、実験には 3.40GHz の CPU コアを持つ Intel Core i7-2600 プロセッサを搭載した計算機を用いた。

数値シミュレーションでは立方格子状

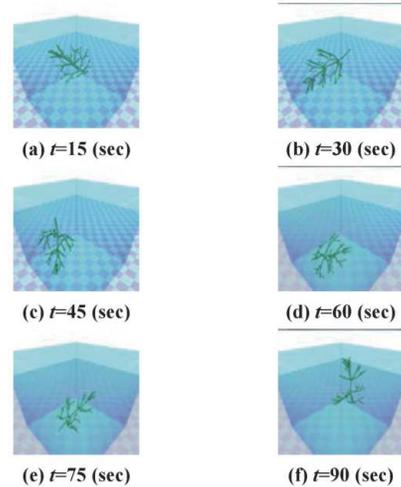


図6 単一海藻の流動シミュレーション

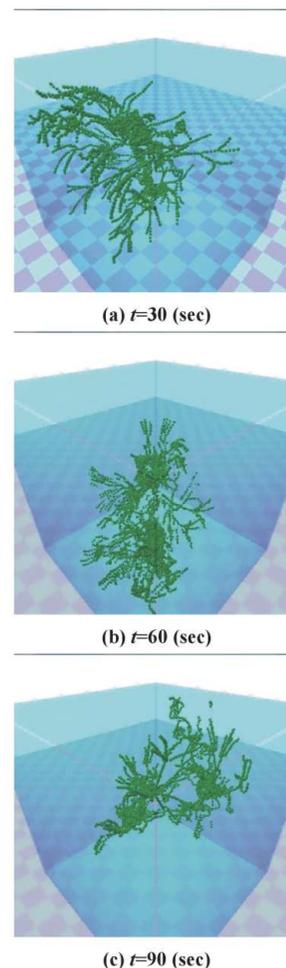


図7 8本の海藻の流動シミュレーション

の空間内部に存在する物体(海藻)のみに流体力を適用し、立方格子状水中環境を設定した。水中環境の周囲6面は静的な剛体

板で取り囲んでいる。液体の密度は  $1040.0\text{kg/m}^3$  とし、真水より重い海水に設定した。LBM で空間離散化に用いる格子総数は  $80^3$  であり、水流は図 5(a) に示す流線方向を実現するために、左側面壁に接する図 4 に示す格子の  $c_8, c_9$  と右側面  $c_{14}, c_{15}$  に、初速  $1.4\text{m/sec}$  を与え、その以外の粒子の初期速度は 0 と設定した。人工海藻の初期配置は、単一の場合は水中環境の中央、8 本の場合についてはその中央を中心として環状に等間隔に設定した。海藻のモデルの条件及び物理定数、流体力におけるパラメータの詳細を表 2 に示す。シミュレーション実験に用いる設定値の中で力とトルクの限界値は、物理エンジンの演算処理の数値的安定化と形状に基づく剛体の配置の簡便化の面から事前に実験的に求めたものを示している。海藻の密度は  $1000.0\text{kg/m}^3$  で与え、水や比較的重みのある材質から構成される物体と同程度に設定した。また、粘性値は、事前の予備シミュレーションで粘着が生じた係数を採用した。

#### 4-2 動的モデリングによる挙動検証

初期状態から時間が 15 秒から 90 秒迄の人工海藻の挙動遷移の様子を図 9 に示す。

人工海藻は 90 秒間で水中環境内部を水流方向に沿ってほぼ 2 回循環した。これから LBM により計算した水流の流体速度ベクトルが図 5 (a) の軌道を作製し、剛体周囲の流速を適切に実現し、人工海藻を構成する剛体に働く抗力計算に適用されていることがわかる。

シミュレーション後半において人工海藻の移動速度が前半と比較して上昇しており、単位時間当たりの流動距離が長くなる。これは流動により水流と海藻との相対速度が減少し、海藻に働く抗力の大きさが小さくなるためである。加えて、海藻の密度は流体の密度に対して低く設定したため、

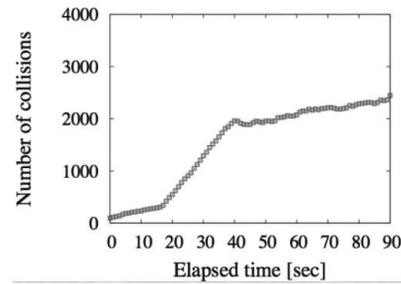


図 8 衝突回数の時系列変化

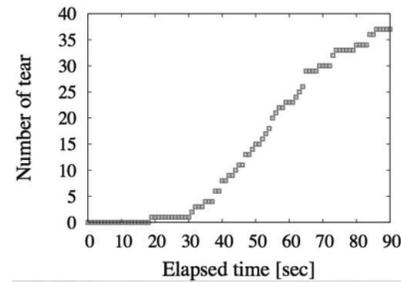


図 9 ちぎれ回数の時系列変化

鉛直上向きに浮力が働くことで浮上動作が高速に行われたことも原因である。なお、このシミュレーションに要した計算時間は 334 秒(シミュレーション時間とは異なる)であった。

#### 4-3 特性の検証結果と考察

8 本の人工海藻に対する 90 秒間の流動シミュレーションにおける 30 秒ごとの海藻の状態を図 7 に示す。

図 8 と図 9 はそれぞれ全海藻の累積ちぎれ回数と接触判定が真である対となる 2 剛体数の総和の時系列変化を示している。

累積ちぎれ回数の時系列変化から小さな階段状の変化が見られ、ちぎれが数秒間で頻繁に発生する場合と、まったく発生しない場合が混在している。つまり、人工海藻の流動では流体力及び粘着力の影響を受けやすい状態が断片的に続き、動的な環境変化に対する影響が少ない安定した状態に落ち着く状態への遷移を繰り返していることになる。

剛体接触数についても、ちぎれと同様な階段状の変化の結果が表れており、接触数

の変化が著しい増加を示す状態が続く場合と緩やかな増減もしくは不変動である場合があった。

図 8 に示した挙動の遷移を考慮すると、海藻同士の接触拡大が容易に進展して行くことが明らかであり、近接箇所に対して疑似クーロン力による引力を働かせやすい粘着力による影響が強い傾向が現れている。1回のシミュレーションの終了までに要した計算時間は 1796 秒であり、単一海藻でのシミュレーション時間と比較して 5 倍程度の結果となった。

剛体接触数と累積ちぎれ回数の関係性について結果から、20 秒付近において接触数の急増およびちぎれが発生していることがわかる。その後 40 秒付近において接触数の急増は収束するが、ちぎれ回数は急増を続けており、この結果から高い接触数が維持される状態のときほど別の個体からの拘束を受け、移動速度と流体速度の差が大きくなり、抗力が増大することから、ちぎれが生じ易いことがわかる。したがって、密な接触状態により海藻同士が互いに拘束し合っている状態で流動を続けると海藻に加わる抗力によりちぎれが多発するという相互関係がある。

## 5. 結 言

本研究は、以下のようにまとめられる。

- (1) 海藻の形態及び物理性質をモデリングし、流体運動を考慮した流体力を適用可能な水中環境の構築を行い、海藻の動的モデリング手法を提案した。
- (2) 導入した物理性質及び流体力に基づく流動シミュレーション結果から、人工海藻がちぎれ・粘着の物理性質を反映した流動を獲得することを示した。
- (3) 海藻の物理性質の時系列変化及び挙動の遷移状況の CG アニメーション作成し、海藻の挙動にかかわる水流および複数

の海藻同士の相互関係の観察及び考察を容易にし、海藻の挙動解析に対する有効性を示した。

本論文で報告した人工海藻の動的モデリングにより、海藻培養環境の改良に向けた海藻同士の絡みの制御及び発生メカニズムの解析が可能となる。今後、これらに関する報告を行いたい。

## 謝辞

本研究は平成 25～27 年度学術研究助成基金助成金（基盤研究（C））（課題番号 25420206, 人工生命技術による海藻の物理特性シミュレーション法の確立と流動制御）に基づいて実施したものである。ここに謝意を表する。

## 参考文献

- (1) CHEN S. and DOOLEN G. D. (1998) “Lattice Boltzmann Method for Fluid Flows,” *Annu. Rev. Fluid Mech.* Vol. 30, pp.329-364
- (2) CORBIT J.D. and GARBARY D.J. (1993) “Computer simulation of the morphology and development of several species of seaweed using Lindenmayer systems,” *Comput. Graphics* Vol. 17, pp.85- 88
- (3) FEI Xiu-geng (2004) “Solving the coastal eutrophication problem by large scale seaweed cultivation,” *Hydrobiologia*, Vol. 512, pp.145-151
- (4) FEI Xiu-geng, BAO Ying and LU Shan (1999) “Seaweed cultivation: Traditional way and its reformation,” *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, Vol. 7, pp.193-199

- (5) HIRATA Satoshi, HAYASHITANI Masao, TAYA Masahito AND TONO Setsuji (1996) “Carbon Dioxide Fixation in Batch Culture of *Chlorella* sp. Using a Photobioreactor with a Sunlight-Collection Device,” *Journal of Fermentation and Bioengineering*, Vol. 81, pp.470-472
- (6) HOU Shuling, ZOU Qisu, CHEN Shiyi, DOOLEN Gary and COGEY Allen C. (1985) “Simulation of Cavity Flow by the Lattice Boltzmann Method,” *Journal of Computational Physics*, Vol. 118, pp.329-347
- (7) LAM Man Kee and LEE Keat Teong (2011) “Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME); Win-win strategies toward better environment protection,” *Biotechnology Advances*, Vol. 29, pp.124-141
- (8) LI Xin, HU Hong-ying and ZHANG Yu-ping (2011) “Growth and lipid accumulation properties of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp. under different cultivation temperature,” *Bioresource Technology*, Vol. 102, No. 3, pp.3098-3102
- (9) MACNAMARA G. and ZANETTI G. (1988) “Use of the Boltzmann equation to simulate lattice-gas automata,” *Phys. Rev. Lett* Vol. 61, Issue 11, pp.2332-2335
- (10) 松尾一泰 (2007) 「流体の力学 - 水力学と粘性・完全流体力学の基礎,」 理工学社
- (11) NVIDIA (2012) //www. nvidia.com/hardware/technology/physx (5 May 2012)
- (12) PANG Shaojun and LUNING Klaus (2003) “Mass cultivation of seaweeds Current aspects and approaches,” *Journal of Applied Phycology*, Vol. 15, pp.115-119
- (13) SEN Soner I. and day A. M. (2005) “Modelling trees and their interaction with the environment; A survey,” *Comput. Graphics*. VOL. 29, pp.805-815
- (14) UGWU CU, AOYAGI H, UCHIYAMA H. (2008) “Photobioreactors for mass cultivation of algae,” *Bioresource Technology*, Vol. 99, pp.4021-4028
- (15) 渡邊信 (2010) 「藻類バイオマスエネルギー技術の課題と展望,」 日本機械学会誌, Vol. 113, No. 1098, pp.32-35
- (16) YOKOYAMA Shinya, JONOUCHI Katsunari and IMOJ Kenji (2007) “Energy Production from Marine Biomass Fuel Cell Power Generation Driven by Methane Produced from Seaweed,” *PROCEEDINGS OF WORLD ACADEMY OF SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY*, Vol. 22, pp.320-323
- (17) ZXIJFFER Jan-Willem F., SHIPPERS Klaske J., ZHENG Ke, JANSSEN Marcel, JTRAMPER ohannes, and WIJFFELES René H. (2010) “Maximum Photosynthetic Yield of Green Microalgae in

Photobioreactors,” *Mar Biotechnol*,  
Vol. 12, pp.708-718

## 〈論文〉

## 確率的構成モデルに基づく海洋植物群の 成長パターンとその挙動

古川正志\* 小川純† 山本雅人‡ 渡辺美知子§ 澤井秀\*

### Growth Patterns of Sea-plant Populations and Their Motion Analysis for Based on Stochastic Architectural Model

Masashi FURUKAWA\* Jun Ogawa† Masahito YAMAMOTO‡  
Michiko WATANABE§ Suguru SAWAI\*

#### 要旨

本研究では、最初に、確率モデルを用いた植物群の動的成長パターンの生成法を新たに提案する。次いで、成長にともなう植物の形状から海藻の物理モデル作成し、一定の流れをもつ水中環境下において、物理シミュレーションを用いて、異なる成長段階における浮遊性植物群の挙動を調査した。その結果、提案モデルは、海藻の成長パターンを表現可能であり、このモデルから海藻の成長段階により絡みが異なることが検証された。

#### Abstract

This paper proposes a simulation method of movement of marine plants in a water flow at the different growth process. The dynamic growth patterns of marine plants are realized by adopting a stochastic growth mode, which takes into account physical interference among plant populations. The physics engine (PhysX offered by NVIDIA) is employed to simulate plant movement. It is clarified that physical factors make a great effect on marine plant population.

#### キーワード

バイオマス海藻 物理モデリング 水流シミュレーション 人工生命

\*北海道情報大学経営情報学部システム情報学科教授, Professor, Department of Business and Information Systems (Dept. of BIS), HIU

†北海道大学情報科学研究科学術研究員, Post-Doctorial Researcher, Department of Information Science and Technology (Dept. of IST), Hokkaido University (HU)

‡北海道大学情報科学研究科教授, Professor, Dept. of IST, HU

§北見工業大学機械工学科准教授, Associate Professor, Department of Kitami Institute of Technology

## 1 緒 言

近年、エネルギー生産や食糧生産の分野で海洋植物の培養が注目されており、世界各国で研究が進められている「DEIRBAS *et al.* (2009)」。海洋植物は優れた効率の光合成により成長が可能である。その光合成は、温室効果ガスである  $\text{CO}_2$  や  $\text{NO}_2$  などを吸収し、その量に応じた酸素や糖を生産する特徴を備えている。そのため、海洋植物の培養に関する研究は工学的に重要な価値がある。この特徴は、大規模培養な海洋植物を利用した火力発電所における  $\text{CO}_2$  回収「KHESHGI H.S. *et al.* (2000)」や抽出されるバイオオイルの自動車燃料としての導入「渡邊信 (2010)」などに導入され、多くの実用例も報告されている。

海洋植物の培養では浮遊性植物群の高密度培養が主流である「MATSUMOTO M. *et al.* (2000)」。浮遊性植物とは根を固定せず、水中を水流に応じて自由に浮遊する植物である。この植物は流動によって効率よく  $\text{CO}_2$  と光を光合成器官に蓄積・吸収できるため、非常に早い成長速度が実現できることが、実験(図1)で確認されている「竹中工務店 (2012)」。

しかしながら、浮遊性植物は高密度培養時において、絡みや絡みによるちぎれを防ぐ水流の制御を必要とする問題が存在する。すなわち、成長初期の段階では茎と葉が短いため他個体の物理的干渉が少ないが、成長が進むにつれて、その干渉度合いが大きくなり、絡みなどの物理現象が生じ、成長が阻害される。このため効率的な培養を目指す上で、成長段階に応じた浮遊性植物群の挙動解析とそれに伴った水流の制御が必要となる。

本研究では、環境及び複数の海洋植物間の物理的干渉を考慮した確率的成長モデルによる植物群の形状モデリング方法を



図1 ミナミアオノリの培養実験(竹中工務店(株))  
「平成24年度二酸化炭素海洋固定化・有効利用技術調査事業報告書」, p78 図9より引用)

提案し、得られる形状を利用して成長段階の異なる植物群の物理モデルを作成する。これによって仮想空間内に定義した水中環境において植物群を配置し、水流の時系列変化により得られる物理シミュレーションを実施し、その結果に基づき海洋植物群の物理的影響について検証する。シミュレーションには物理エンジンを使用する。物理エンジンとは、仮想空間に配置された剛体のダイナミクスを高速に計算し、摩擦、落下、衝突、弾みなどの物理的反応を容易にシミュレーション可能なソフトウェアライブラリである。

本論文の構成は次の通りである。2章で関連する植物の形状モデリングについて述べる。3章では、本研究で使用する植物群の確率的成長モデルとその環境モデルを物理モデリングに基づいての方法を提案する。3章で植物と水中環境の物理モデリングについて説明し、4章で異なる成長段階に応じた浮遊性植物群の挙動のシミュレーション実験の方法及び目的を示し、その結果と考察について述べる。5章で結論を述べる。

## 2. 関連する植物群の成長モデル

ここでは、植物の形態をモデル化する関

連する植物群の成長モデルを、簡単に述べる。

### 2-1 リンデンマイヤモデル (L-システム)

計算機を用いて植物の成長を表現する方法は、フィボナッチ法やフラクタルを用いる方法が古くから存在する。しかし、最も知られる代表的な方法として1968年にハンガリーの植物学者アリストテッド・リンデンマイヤー等によって提唱されたL-system「PRUSINKIEWICZ P. and LINDENMAYER A. (1991)」がある。L-systemは、セルラーオートマトンを自然界の植物の構造決定プロセスに適用したものである。自然界の植物の基本構造要素であるプリミティブは、あらかじめ文字で表現され、構造決定のプロセスは設定した置換規則をプリミティブに再帰的に適用し、徐々に植物の成長を表現するアルゴリズムである。

L-systemの適用によって容易に植物の成長を表現することが可能となり、遺伝的操作による自然淘汰や物理的影響などを考慮したGenetic L-system Programming (GLP)「JACOB C. (1994)」やPhysics Enhanced L-system「JACOB C. (1994)」等の改良手法も提案されている。しかしながら、これらの再帰的手法は成長ステップごとに構造がすべて上書されるため、成長が進んだ際に以前の構造情報を維持することができず、表現される形状が規則的になりがちな欠点がある。

### 2-2 確率的植物成長モデル

再帰的なアルゴリズムを用いず、構成モデル (architectural model) として植物の成長過程を表現する方法も古くから存在する「HALEE F. *et al.* (1978)」「FISHER J. (1992)」。構成モデルを発展させた方法として、確率的植物成長モデル「KANG M.Z. *et al.* (2008)」がある。確率的成長モデルとは茎葉の伸長や分枝・曲折などを確率的

に選択し、成長状態を表現するモデルである。構造決定は前の情報に追加する形で行われるため、成長ステップごとに生じる重複部分の上書きがなくなり、無駄が少ない成長表現が可能となる。

## 3. 確率的成長モデルに基づく植物群の表現

### 3-1 構成モデル

本研究で用いる確率的成長モデルは、構成モデルを簡略化したものである。構成モデルは、植物の頂芽(apical bud)の成長方向で茎となる主軸(main axis)と、主軸から生じる側芽(lateral bud)の成長方向で茎となる側軸(lateral axis, bearing axis)によってトポロジカルな構造を表現する。生成された主軸と側軸は、新たに主軸と側軸を生成する。この生成を1成長サイクル(chronological age)と呼ぶ。植物の構造は、成長サイクルを繰り返したときの主軸及び側軸の結合により表現する。主軸及び副軸の成長サイクル数にはそれぞれ上限を設定し、これを限界サイクル数(physiological age, PA)と呼ぶ。「KANG M.Z. *et al.* (2008)」に基づく簡単な例によって構成モデルを図2に従って説明する。

構成モデルは、芽の活動によって作成される。芽は同種類の成長ユニットを作り出す。成長ユニットは一つの頂芽と一つ以上のメタマーを内包する。メタマーは化学では異性体と訳されるが、ここでは新しい側芽と茎となる植物の部分構造に成長するものを指す。頂芽、成長ユニット、側芽、メタマー、及び茎の関係を表1に示す。

図2-(a)は、3種類の芽(種)であり、図2-(b)はそこから発展した頂芽とメタマーである。メタマーの種類を区別するために限界サイクル数PAを用いる。限界サイクル数によって区別されたPAを $PA_p$ と記述する。図3では、 $PA_1$ ,  $PA_2$ ,  $PA_3$ の

表 1 構成モデルの要素と生成要素

要素	生成要素
頂芽	成長ユニット
成長ユニット	頂芽, メタマー, 茎
メタマー	側芽, 茎
側芽	頂芽, メタマー, 茎

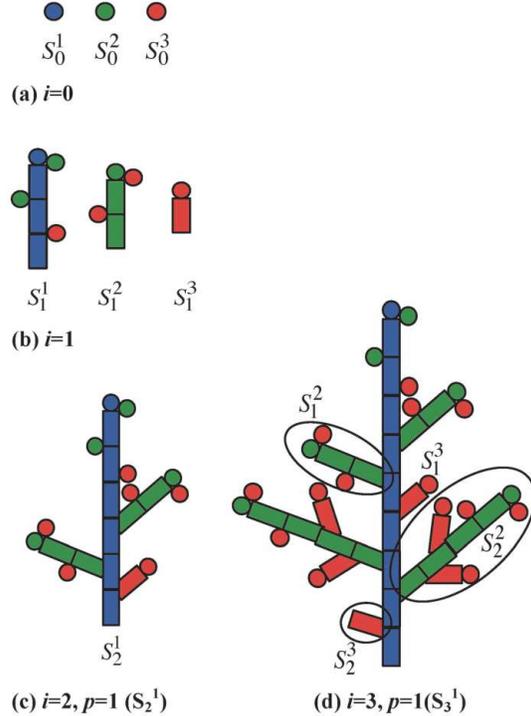


図 2 構造的モデルの成長遷移

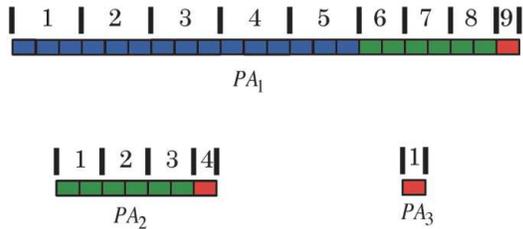


図 3 (3)式による変化前の限界サイクル数による軸の成長

限界サイクル数を 3, 2 及び 1 と設定している. 現在のサイクル数が  $i$  の時の  $PA_p$  のメタマーの構造を  $\{S_i^p\} = \{S_i^1, S_i^2, S_i^3\}$  と記述する.  $\{S_0^p\} = \{S_0^1, S_0^2, S_0^3\}$  は, メタマーの成長前の芽 (種子) とする.

サイクル数  $i$  の時に, 成長ユニットがそ

の内包するメタマーを生成する個数を, 行列  $M_I = [M_I^{p,k}]$  で表現する. 図 2 では,

$$[M_I^{p,k}] = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

を用いる. すなわち,  $p=1$  では  $p=2$  のメタマーを 2,  $p=3$  のメタマーを 1 生成する. 同様に,  $p=2$  では  $p=3$  のメタマーのみを 2 生成し,  $p=3$  では  $p=3$  のメタマーのみを 1 生成する.

また,  $PA_p$  がサイクル数  $i$  の時に, 1 メタマーが生成する側芽の個数を  $N_B = [N_B^{p,k}]$  で表現する. 図 2 では,

$$[N_B^{p,k}] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

と設定した. すなわち,  $p=1$  では  $p=2$  の側芽を 1,  $p=3$  の側芽を 1 生成する. 同様に,  $p=2$  では  $p=3$  の側芽のみを 1 生成し,  $p=3$  では側芽を生成しない.

(1)及び(2)式に従って成長を繰り返すと図 2 (a)~(d)のようになる.

軸が成長した時, 頂芽はあるサイクル数  $i$  で, 限界サイクル数を変えることができる. 変化前のサイクル数をベクトル  $M_A$  で定義する. また, 変化後の頂芽の新しい限界サイクル数  $PA$  をベクトル  $T_a$  とする.

例えば,

$$M_A = [5 \ 3 \ 1] \quad (3)$$

$$T_A = [2 \ 3 \ 0] \quad (4)$$

と定義すると, 変化前の頂芽の限界サイクル数の  $PA_1$ ,  $PA_2$ , 及び  $PA_3$  は図 3 のようになる.



図4 ミナミアオノリの成長(竹中工務店(株)「平成24年度二酸化炭素海洋固定化・有効利用技術調査事業報告書」, p76 図5より引用)

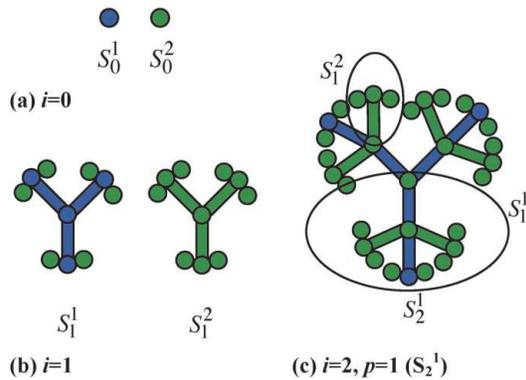


図5 ミナミアオノリの構造的モデルの成長遷移

### 3-2 確率的構成モデル

昆虫による被害などと物理的な環境制約から、成長ユニットの芽は成長、休止、枯れ死等を起こす。また、自身の交差による成長の休止も引き起こされる。これを実現するために構成モデルに要素数  $p_m$  の確率ベクトル  $P$  を導入し、芽、側芽、メタマーの生成を確率的にする。

**頂芽の生存確率** :  $P_C$  を頂芽の生存確率とする。芽の生存個数は  $P_C M_A$  で計算される。

**側芽の分岐確率** :  $P_B$  を側芽の分岐確率とする。側芽の分岐の個数  $P_B N_B$  で計算される。

**頂芽の成長確率** :  $P_A$  を頂芽が生存しても成長を休止する(未生育となる)確率とする。頂芽の休止個数は  $P_A M_A$  で計算される。

**メタマーの出現確率** :  $P_I$  を成長ユニットからメタマーが出現する確率とする。メタマーの個数は、 $P_I M_I$  で計算される。

これらの確率を構成モデルに導入することにより、より現実に近い植物のモデル化を行なうことができる。

### 3-3 海藻の成長モデル

一般的な陸上植物モデルの多くは、前節で述べた確率的構成モデルによりモデル化できる。ここでは、海藻培養植物として知られる図4に示したミナミアオノリ (*ulva meridionalis*, green laver) 「竹中工務店(株)(2012)」を海藻の成長モデルとして作成する。

ミナミアオノリは、水中に浮遊するために根を持たない。その成長の形状は筋状であり茎に側芽を持たない。水中で浮遊するため重力の影響を受けず、複数の主軸を生成する。頂芽は、いくつかの方位に確率的に複数の成長ユニットを生成する。成長ユニットはメタマーを生成するが、側芽は頂芽と同じ位置に生成される。限界サイクル数が3の時のサイクル数2迄の成長を図5に示す。

サイクル数  $i$  の時に、成長ユニットがその内包するメタマーを生成する個数の行列  $M_I$  は、

$$[M_I^{p,k}] = \begin{bmatrix} 0 & n \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

となる。ここで、 $n$  はメタマーの数である。また、サイクル数  $i$  の時に、1メタマーが生成する側芽の個数の行列  $M_I$  は、

$$[N_B^{p,k}] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

となる。

確率モデルとしては、メタマーの出現確率と側芽の分岐確率を導入する。成長ユニットからのメタマーの出現個数は、 $P_A M_A$  で計算される。また、側芽の分岐個数は  $P_I M_I$  となる。

図5-(b)から分かるように、 $S_1^1$  と  $S_1^2$  は同じトポロジーを持つので、特に頂芽と側

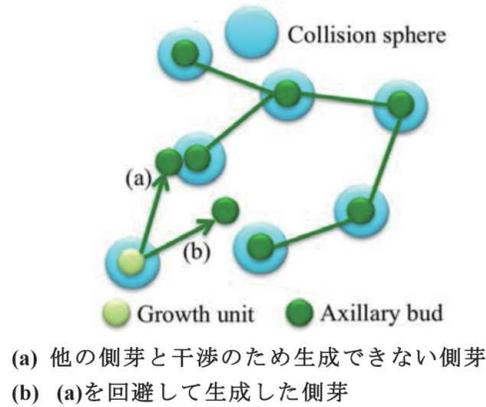


図 6 干渉回避した側芽の生成

芽を区別しなければ, (5)式は

$$[M_I^{p,k}] = \begin{bmatrix} 0 & n+1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

と変更できる. 従って, 以下のような海藻の生成モデルを作成できる.

- 1) 種子から確率  $P_I$  で成長ユニットを作る ( $i=0$ ).
- 2)  $i=i+1$  として, 成長ユニットから確率  $P_I$  でメタマーを作成する. 確率  $(1-P_I)$  で成長ユニットはメタマーを生成しない.
- 3) 生成したメタマーから, 茎と側芽を生成する. 側芽の位置ベクトルを茎の長さ  $l$ , 成長ユニットからのロール角  $\varphi$ , ピッチ角  $\theta$ , ヨー角  $\psi$  で表した伸長度  $G(l, \varphi, \theta, \psi)$  で定義する. 伸長度の各要素にはあらかじめ設定した値域が与え, 乱数により決定する.
- 4)  $i=p_{max}$  (最大限界サイクル数) ならば, 終了する. そうでなければ, 2)へ戻る.

### 3-3 植物間の干渉回避

海藻が成長すると, モデル上では伸びた茎が他個体の茎と接触し干渉を起し, その方向に茎を伸ばすことができなくなる. しかし, 実際の海藻の成長では密集状態でもある程度滞ることなく, 自然に枝を伸ば

せる空間を探索し成長する. 密集状態あるいは成長が進んだ状態では, 特にこのような物理的な要因が海藻の成長に与える影響が大きくなる. そのため, 海藻自身が自身の茎を他個体と接触せず伸ばす方向を確率的に選択する必要がある.

ここでは, CAD で使用される簡単な衝突 (干渉) 回避の方法を以下のように導入する.

- 1) メタマーから生成された側芽にそれを完全に包含する立体球を定義する. この立体球を海藻の干渉領域とよぶ.
- 2) 前節のステップ 3)で生成されるメタマーから生成される新しい側芽の位置ベクトルが, 自身あるいは他の海藻の側芽の干渉領域内であれば, 再度, メタマーは  $G(l, \varphi, \theta, \psi)$  の要素  $\varphi, \theta, \psi$  を変更し, 新しい茎と側芽を生成する.
- 3) もし新しい側芽がどの側芽の干渉領域にも含まれないならば, これをメタマーの生成する側芽と茎の位置とし, 1)へ戻る. そうでなければ 2)へ戻る.

干渉回避の概念を図 6 に示す.

### 3-5 環境の影響の考慮

実際の環境では  $\text{CO}_2$  濃度や光の強度にばらつきが生じており, 植物の生息地点によってその成長度合いにばらつきが生じる. このような環境が成長に与える影響を考慮するために, 図 7 に示すように環境を領域分割し領域ごとの影響度  $e$  を実数値として与えた. 対象となる成長ユニットは, 成長ユニットが存在する領域の影響度と, 乱数で決定した伸長度の長さ値の積を計算し, 新たに生成される側芽の位置ベクトルの伸長の長さとして置き換える. これにより環境の影響を考慮する. 3-3 から 3-5 に基づいて生成した最大限界サイクル数 5 の海藻モデルの例を図 8 に示す.

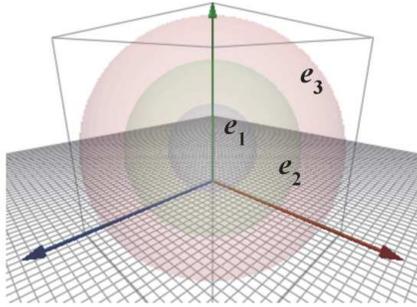


図7 環境係数の設定 (外側程, 成長が大きい)

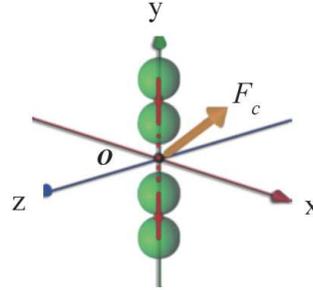


図9 海藻のちぎれ

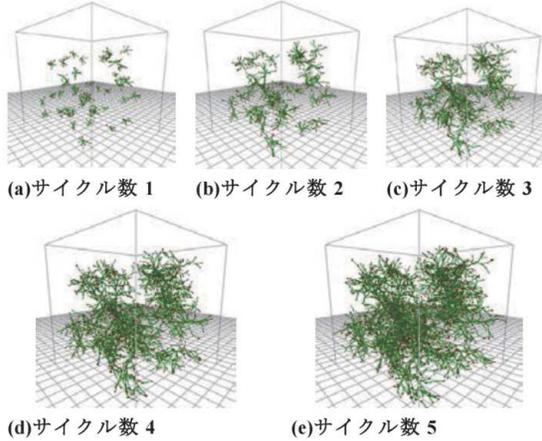


図8 生成された海藻モデル例

「VIDIA-PhysX (2012)」では、ジョイントに働く外力とトルクの限界値を設定できる。限界値を外力が超過した場合に、ジョイントの接続機能を停止させ、接合部の破壊を実現する。この機能を用いて植物のちぎれの物理性質をモデリングする。ちぎれの判定式を(1)式の閾値  $J$  により行う。

$$J = \begin{cases} True : |F| > F_c \text{ or } T > T_c \\ False : \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$F$ ,  $F_c$  はジョイントに加わる外力とその限界値,  $T$ ,  $T_c$  はジョイントに加わるトルクとその限界値である。外力及びトルクは3次元ベクトルであり, 判定には外力とトルクの絶対値を用いる。ちぎれ概念図を図9に示す。

## 4 植物と環境の物理モデリング

### 4-1 海藻の物理モデル

海藻の確率的成長モデルにより動的に生成される海藻の成長パターン(図7)から剛体を用いて現実の物理法則に従う海藻の物理モデルの作成方法を述べる。

最初に、海藻のメタマー(側芽)の位置に剛体球を配置し、メタマーと生成する側芽の位置ベクトルに基づいて、その直線上に球状の剛体とジョイントを配し、海藻の茎部分を作成する。更に、海藻の弾性体としての物理性質を付加しモデル化するために減衰係数とばね係数をジョイントに設定する。ジョイントは、 $x$  軸,  $y$  軸,  $z$  軸周りに回転可能なように軸廻りに3自由度で設定し、海藻の柔軟性を実現する。

### 4-2 物理性質

本研究で用いる物理エンジン PhysX 「N

### 4-3 水中環境の物理モデル

物理エンジンがサポートしているのは重力や摩擦係数など基礎的な物理パラメータのみであり、水中での流体からの影響力などを考慮したより現実的な物理環境を構築する必要がある。本章では根を固定しない海藻を水流によって流動させるために、流れの生じる水中環境の構築方法について述べる

**浮力** 物体周囲の流体の密度と物体の密度差が生じる場合、その密度差に応じた浮力が物体に働く。浮力はアルキメデスの原理により、図10(a)に示すように水中の

物体の中心に流体の密度に比例した鉛直上向きの力として働く．その大きさ  $F_B$  は(9)式により計算される．

$$F_B = \rho V g \quad (9)$$

ここで  $\rho$  は液体の密度,  $V$  は物体の体積,  $g$  は重力加速度である．

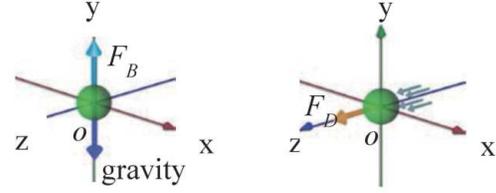
**抗力** 流れが生じる流体中を物体が移動するとき, 物体は流体から抵抗力を受ける「松尾一泰 (2007)」．これは流体が粘性を有していることに起因している．流体中における物体に働く抗力は, 物体周囲の流体速度と移動ベクトルとの相対ベクトルの2乗に比例する力として計算され, その向きは物体の進行方向の逆向きである．抗力  $F_D$  とするとその大きさは(10)式により求められる．

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A v^2 \quad (10)$$

抗力の概念図を図 10 (b)に示す

**流れ場** 流体の速度場を計算するためには想定する流体の特性に応じた流体運動の解析が必要となる．本研究では, 格子ボルツマン法 (Lattice Boltzmann method, LBM) 「CHEN S. and DOOLEN G.D. (2003)」 「KOSHIZUKA S. and OYA Y. (1996)」 「LEONARD A. “Vortex methods for flow simulation”, (1980)」 「MONAGHAM J.J. (1992)」を採用する．海藻の場として LBM を適用する方法については「古川正志他 (2015)」で報告したので, ここではその概略を述べる．

LBM は空間を規則的な格子で一様に分割・離散化し, 格子内に定めた一定数の粒子運動に基づいて, 連続体としての流体運動をシミュレートする．各格子内には, 複数の粒子速度を定める．15 速度モデルの場合, 図 11 に示すように, 格子内の粒子速度 ( $\mathbf{c}_i; i=1,2,\dots,15$ ) をと設定する．



(a) 浮力 (b) 抗力

図 10 浮力と抗力

$$\mathbf{c}_i = \{(1,0,0), (\pm 1,0,0), (0,\pm 1,0), (0,0,\pm 1), (\pm 1,\pm 1,\pm 1)\} \quad (11)$$

座標  $\mathbf{x}$  及び時間  $t$  における速度  $\mathbf{c}_i$  をもつ仮想粒子の速度分布関数  $f_i(\mathbf{x}, t)$  は, 以下となる．

$$f_i(\mathbf{x} + \mathbf{c}_i \Delta t, t + \Delta t) = \frac{\lambda - 1}{\lambda} f_i(\mathbf{x}, t) + \frac{1}{\lambda} f_i^{eq}(\mathbf{x}, t) \quad (12)$$

ここで,  $f_i$  は  $i$  方向の粒子における実数値の粒子分布,  $\lambda$  は単一時間緩和係数であり, 衝突を繰り返し移動する粒子は一定割合で平衡状態  $f_i^{eq}$  へと収束する．  $f_i^{eq}$  は以下の(13)式で表現される．

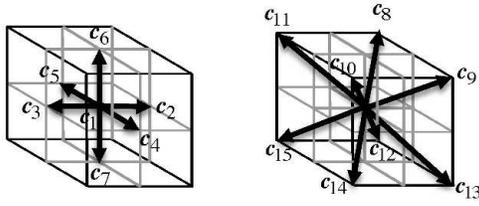
$$f_i^{eq}(\mathbf{x}, t) = E_i \rho \left[ 1 - \frac{3}{2} \mathbf{v}^T \mathbf{v} + 3 \mathbf{c}_i^T \mathbf{v} + \frac{9}{2} (\mathbf{c}_i^T \mathbf{v})^2 \right] \quad (13)$$

但し,

$$E_i = \begin{cases} \frac{2}{9} & : i=1 \\ \frac{1}{9} & : i=1, \dots, 7 \\ \frac{1}{72} & : i=8, \dots, 15 \end{cases}$$

である．(13)式において,  $\rho$  と  $\mathbf{v}$  は格子内の流体の巨視的変数であり, 速度分布関数  $f_i$  を用いて以下の式で定める．

$$\rho = \sum_i f_i \quad (14)$$



(a) 粒子速度  $c_1 \sim c_7$  (b) 粒子速度  $c_8 \sim c_{15}$   
 図 11 15 粒子モデルの格子内の粒子速度

$$v = \frac{1}{\rho} \sum_i c_i f_i \quad (9)$$

## 5 シミュレーション実験

### 5-1 実験目的

成長段階が異なる浮遊性海藻群の挙動及び茎の伸長の違いによる海藻個体同士の物理的干渉をシミュレーションに基づいて検証するために、構築した水中環境に海藻群の物理モデルを配置し水流によって海藻群全体を流動させる物理シミュレーションを実施する。

実験は以下のように行なう。始めに、限界サイクル数 5 の海藻の時系列成長パターンの中から 3 通りを選択する。ついで、これらの 3 通りの海藻成長パターンの物理モデルを作成する。これらを仮想水中環境に設定し、鉛直上向きに発生する噴水流を水中に与え、20 秒間の流動シミュレーションを実施する。このシミュレーションから得られる初期状態からの海藻の挙動の遷移過程を検証する。

成長パターンの選択方法については、海藻の茎の長さや海藻個体の自由度の差が全体の挙動に及ぼす物理的影響を明らかにするために、(1) 初期状態で他海藻と接触していないもの、(2) 成長が進み他海藻との接触が現れる状態のもの、(3) 多くの海藻同士が初期状態から接触しているもの、の 3 種類を選択した。

シミュレーションにおける PhysX の積分 (ルンゲクッタ数値積分) の微小時間は

1/60 秒とした。シミュレーションには 3.4GHz の CPU コアを持つ Intel i7-2600 プロセッサを搭載した計算機を用いた。

表 1 に実験で用いたパラメータの値の詳細を示す。実験に用いる力及びトルクの限界値は、PhysX の物理演算の数値的な安定化のため、予備実験から現実に対応した挙動が獲得できる適切な値として求めたものを示している。なお、水の密度は  $0.998[\text{g}/\text{cm}^3]$ 、植物の密度は  $1.200[\text{g}/\text{cm}^3]$  とした。海藻は、この密度差により計算の

表 1 実験条件

Plants	
Step size $\sigma$	5
Growth probability $p$	0.8
Range of length $l$	2 - 4 [cm]
Range of rotate angle $\varphi$	$-45^\circ - 45^\circ$
Range of pitch angle $\theta$	$-45^\circ - 45^\circ$
Range of yaw angle $\psi$	$-45^\circ - 45^\circ$
Range of environmental effects	1.0 - 1.5
Radius of growth points	0.5 [cm]
Radius of personal space	1.5 [cm]
Force limit value of joints	1000 [N]
Torque limit value of joints	1000 [Nm]
Initial number of branches	10
Range of number of branches	0 - 2
Number of individuals	50
Density	1.200 [g/cm <sup>3</sup> ]
Water Environment	
Density $\rho$	0.998 [g/cm <sup>3</sup> ]
Gravity acceleration $g$	9.8 [m/s <sup>2</sup> ]
Drag coefficient $Cd$	1
Number of discrete lattices	100×100×100
Relaxation frequency $\lambda$	0.533
Simulation time	20.0[sec]
Time step	1/60.0 [sec]

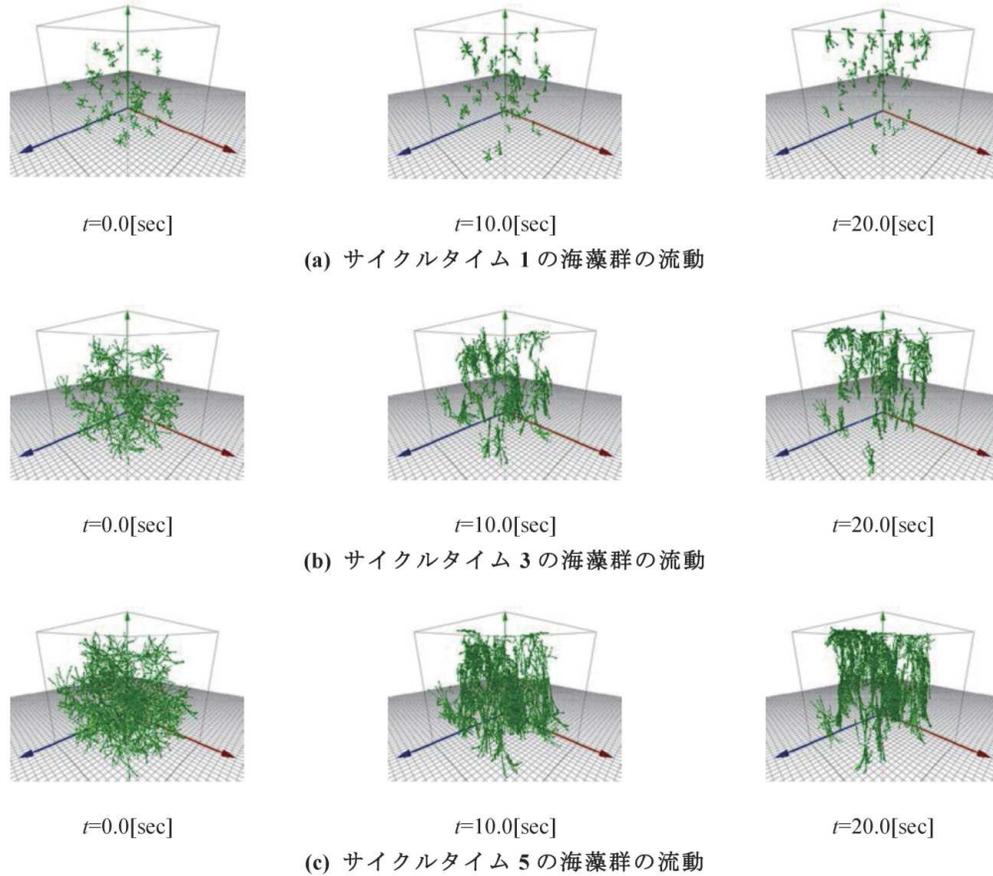


図 12 サイクルタイム 1,3,5 の上下回転噴流による流動シミュレーションスのナップショット

時間進行と共に水中に沈んでいく物体として定義されている。

#### 4-2 結果

初期状態から 10 秒ごとの植物群の挙動遷移の様子を図 12 に示す。初期の成長段階(サイクル数 1)では他海藻との距離が離れており、水流に従い流動するにつれて他個体と接触するが、それらはすぐに分離して、海藻の挙動が他海藻の挙動に与える物理的影響については観測されなかった。

初期状態から接触が観測される成長段階(サイクル数 3)では局所的にいくつかの個体群が茎によって絡まりながら流動する結果が示された。このことから、初期の成長段階(サイクル数 1)で発生しなかった海藻の絡みを得られ、海藻が成長にともなって相互間の物理的相互作用が及ぼす影

響が強くなっていくことがわかる。高密度状態にある段階(サイクル数 5)ではほとんどすべての海藻が茎の絡みあいによりつながり、全体が塊として流動している結果が得られた。

#### 4-3 考察

図 12 の実験結果から成長が進むにつれて枝が他の枝との接触または近接状態となり、流動によって絡みあいなどの物理現象に発展することがシミュレーションから明らかとなった。成長初期(図 12(a))では海藻間の接触では絡みは発生しない。海藻の挙動が海藻群全体の挙動に物理的な影響を及ぼすようになる要因としては、海藻の自由度と茎の長さの関係しており、海藻間の物理的干渉が全体の挙動に大きく作用する成長段階が存在することがわ

かる。また、図 12 に示した 3 通りの成長段階でそれぞれサイズの異なる海藻間の接触により生成される植物群の塊の規模は差があり、海藻のサイズは密集状態における海藻群の全体の挙動を予測する際の指標として取り扱える。

#### 4 結言

本研究では確率モデルを用いた海藻群の時系列成長パターンの生成法を提案し、得られた海藻の形状から物理モデルを作成した。また、流れが生じる水中環境下においてそれらの異なる成長段階における物理シミュレーションを実施し、浮遊性海藻群の挙動を検証した。

本研究は、以下のようにまとめられる。

1. ミナミアオノリを海藻モデルとして、確率的構成モデルによる時系列な形状モデリングの方法を示した。
2. 海藻の形状モデルを物理モデリングに表現する方法を示した。
3. 成長が進むにつれて他海藻への物理的な相互作用が、流動に与える影響を大きくすることをシミュレーションから確認した。
4. 海藻間の物理的な相互作用が絡みへと発展する成長段階が存在することを示した。

本研究では、ミナミアオノリをモデルとした針状の浮遊性海藻群の挙動について報告した。今後は、葉などの表面積の広い形状の植物群の挙動の解析や植物の絡みを解消するような水流の制御方法の提案が挙げられる。

#### 謝辞

本研究は平成 25～27 年度学術研究助成

基金助成金（基盤研究（C））（課題番号 25420206, 人工生命技術による海藻の物理特性シミュレーション法の確立と流動制御）に基づいて実施したものである。ここに謝意を表す。

#### 参考文献

- (1) CHEN S. and DOOLEN G.D. (2003) “Lattice Boltzmann method for fluid flows,” *Annual review of fluid mechanics*, Vol.30, No.1, pp.329
- (2) DEIRBAS M.F., BALAT M. and BALAT H. (2009) “Potential contribution of biomass to the sustainable energy development,” *Energy Conversion and Management*, Vol.50, No.7, pp.1746-1760
- (3) FISSHER J. (1992) “How predict are computer simulation of tree architecture,” *Int. J. Plant Sci.*, Vol. 152, pp132-146
- (4) 古川正志他 (2015) 「バイオマス海藻の流動シミュレーションモデル」北海道情報大学紀要, Vol.27, No.1 (掲載決定)
- (5) HALLE F. AND OLDEMAN R. (1978) “TROPICAL TREES AND FORESTS: AN ARCHITECTURAL ANALYSIS,” *SPRING-VERLAG*, NEW YORK
- (6) JACOB C. (1994) “Genetic L-system programming,” *Parallel Problem Solving from Nature-PPSN III*, pp.333-343
- (7) KANG M. Z., COUNEDE P.H., DE REFFYE P., AUCLAIR D. and HU B-G. (2008) “Analytical study of a stochastic plant growth model Application to the Greenlab model”, *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol.78, No.1, pp.57-75
- (8) KHESHGI H.S. and PRINCE R.C. and

- MARLAND G. (2000) “The Potential of Biomass Fuels in The Context of Global Climate Change Focus on Transportation Fuels 1,” *Annual review of energy and the environment*, Vol.25, No.1, pp.199-244
- (9) KOSHIZUKA S. and OYA Y. (1996) “Moving-particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible fluid,” *Nuclear science and engineering*, Vol. 123, No.3, pp.421-434
- (10) LEONARD A. “Vortex methods for flow simulation”, (1980) *Journal of Computational Physics*, Vol.37, No.3, pp.289-335
- (11) MATSUMOTO M. and YOSHIDA E. and TAKEYAMA H. and MATSUNAGA T. (2000) “Floating cultivation of marine cyanobacteria using coal fly ash,” *Applied biochemistry and biotechnology*, Vol.84, No.1, pp.51-57
- (12) MONAGHAM J.J. (1992) “Smoothed particle hydrodynamics,” *Annual review of astronomy and astrophysics*, Vol.30, pp.543-574
- (13) 松尾一泰 (2007)「流体の力学 - 水力学と粘性・完全流体力学の基礎,」理工学
- (14) NVIDIA-PhysX (2012) [http://www.nvidia.co.jp/object/physx\\_new\\_jp.html](http://www.nvidia.co.jp/object/physx_new_jp.html), accessed 2012/10/09
- (15) PRUSINKIEWICHZ P. and LINDENMAYER A. (1991) “The algorithmic beauty of plants (*The Virtual Laboratory*)”
- (16) 竹中工務店 (株) 「平成 2 4 年度二酸化炭素海洋固定化・有効利用技術調査事業報告書」, 平成 2 5 年 2 月 2 8 日, pp.74-83
- (17) 渡邊信 (2010) 「藻類バイオマスエネルギー技術の課題と展望,」日本機械学会誌, Vol. 113, No. 1098, pp.32-35

## 〈論 文〉

## 若年女性低血圧者の現状および身体的特徴に関する検討

佐藤 浩樹

**The examination of conditions and physical characteristics  
in young female hypotension subjects**

Hiroki SATOH\*

## 要旨

最近の国民健康栄養調査によると、収縮期血圧が100mm Hg未満の若年女性低血圧者の割合が経年的に増加傾向にあることが報告されている。低血圧は重篤な疾患を来たすことは少ないが日常生活の質の低下を来たす留意すべき病態である。しかしながら、若年女性低血圧者の身体的特徴について十分に検討がなされていないのが現状である。このような背景より、今回我々は若年女性114名を対象として、年齢、BMI (body mass index)、食習慣、歩行時間、睡眠時間、収縮期および拡張期血圧、脈拍数を検討し、低血圧者の割合および要因について検討を行った。本研究対象者における低血圧者は29名(25.4%)であった。低血圧群は正常血圧群と比較して、朝食習慣なしおよびやせ型(BMI <18.5kg/m<sup>2</sup>)の対象者の割合が高く、歩行時間および脈拍数は低値で有意差を認めた。多重ロジステック解析の結果、朝食習慣なし、BMI (1kg/m<sup>2</sup>減少)が有意な因子であり、それぞれの調整オッズ比は2.86 (P<0.05)、1.65 (P<0.001)であった。さらに多重ロジステック解析の結果、朝食習慣なし、やせ型が有意な因子であり、それぞれの調整オッズ比は2.97 (P<0.05)、6.72 (P<0.001)であった。朝食および体型を組み合わせた多重ロジステック解析の結果、朝食習慣ありで正常体型の対象者と比較して、朝食習慣なしでやせ型の対象者の低血圧に対する調整オッズ比は23.47 (P<0.01)であった。以上の結果より、朝食習慣なしおよびやせ型体型は低血圧に対する有意な独立した危険因子であり、さらに相乗的にリスクを上昇させることが明らかとなり予防医学的介入の必要性が示唆された。

## キーワード

低血圧 (hypotension) 体型 (body frame) 若年女性 (young female)

---

北海道情報大学医療情報学部医療情報学科教授, Professor, Department of Medical Management and Informatics (Dept. of MMI), HIU

### 1.はじめに

厚生労働省の平成24年度の国民健康栄養調査によると、日本人において収縮期血圧が100mm Hg未満の20代の若年女性低血圧者の割合は、平成15年18.3%、平成20年19.3%、平成24年23.8%と経年的に増加傾向にあることが報告されている[1]。

低血圧は原因から分類すると、明らかな原因を認めない「本態性低血圧」、身体を急に起こすなどの体位変化による自律神経調整のアンバランスが原因となる「起立性低血圧」、心不全などの基礎的疾患を有し血流不足などにより血圧低下を来す「症候性低血圧（二次性低血圧）」の3つに分類できるが、若年女性に認められる低血圧は本態性低血圧がほとんどであることが報告されている[2]。

高血圧は自覚症状の有無に関わらず心筋梗塞や脳梗塞などの心血管疾患発症の重要な危険因子として注目され広く啓蒙されているのが現状であるが、一方で、低血圧が原因となる重篤な合併症の報告は少ないが、日常生活において、めまい、頭痛、易疲労感、集中力の低下等の自覚症状を引き起こし日常生活の質の低下を来すことが報告されている[3,4]。したがって、低血圧も高血圧と同じように予防医学的に社会的啓蒙が必要な病態と考えられるが、これまで若年女性を対象とした低血圧者の要因についての検討は十分に行われていないのが現状である。

このような背景より、今回我々は、安静時の血圧測定により簡便に診断が可能である本態性低血圧（以下、低血圧と記載）に注目し、若年女性を対象として低血圧者の罹患者数の現状、身体的特徴および生活習慣について検討を

行った。

### 2.目的

若年女性を対象として、低血圧者の割合を明らかにするとともに、低血圧者の身体的特徴および日常生活習慣を検討し、低血圧に対する危険因子を明らかにすることが本研究の目的である。

### 3.対象と方法

札幌市に住所をおく健診施設にて定期健康診断を受診した若年女性（19～21才）の中で今回の研究に同意を得られた142名を対象とした。自記式質問票にて、年齢、現病歴（高血圧、脂質異常症、糖尿病）、喫煙習慣、飲酒習慣、食習慣（朝食習慣の有無、間食の有無、塩辛いものを好む）、一日の歩行時間、睡眠時間を検討した。朝食、間食および飲酒の習慣については、定期的に1週間に4回以上の習慣を有する者を習慣ありと定義した。一日の歩行時間は合計時間により分単位、睡眠時間は時間単位で検討した。BMI (body mass index)については健診時の身長および体重の実測値を用い、体重(kg)を身長(m)二乗で除した計算により求めた。日本肥満学会の診断基準を参考に、測定結果値が $18.5\text{kg}/\text{m}^2$ 未満をやせ型、 $18.5\text{kg}/\text{m}^2$ 以上 $25\text{kg}/\text{m}^2$ 未満を正常とした[5]。血圧および脈拍の計測は、5分間の安静後、座位にて血圧計カフを心臓の高さに合わせ上腕部に装着し自動血圧計（オムロン HEM-7132）を用いて測定を行った。血圧測定は2度行い測定値の平均を求め対象者の血圧値とした。収縮期血圧が100mm Hg未満を低血圧、100以上かつ140mmHg未満を正常血圧と定義した[2,6]。以上の測定より肥満と認められるBMI値が $25(\text{kg}/\text{m}^2)$ 以

上の対象者26名、収縮期血圧140 mmHg以上を認めた高血圧対象者2名を除外した。114名中、低血圧を認めた29名に対して二次精査を行った結果、全例が本態性低血圧の診断であり低血圧者としての解析対象とした。統計学的検討では、群間の比較においては、実数は対応の無いt検定、割合はカイ2乗検定を用いた。2つの実数の関連についてはPearsonの相関係数を求め検討した。低血圧を説明変数とし、年齢、BMI、朝食習慣なし、間食あり、塩辛いものを好む、一日の歩行時間、睡眠時間を説明変数として多重ロジスティック解析を行い、各変数と低血圧との関連について調整オッズ比を算出し、相対危険度の推定とした。以上の統計学的解析は全てSPSSソフト(Ver. 21.0)を用い $P < 0.05$ を有意差ありと判断した。

#### 4.結果

##### 4-1.対象者の基本属性を表1に示す。

総数は114名で年齢は19~21才(平均 $20 \pm 1$ 才)、BMIの平均値は $20.7 \pm 2.2$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )であった。やせ型の対象者は22名(19.3%)であった。高血圧、脂質異常および糖尿病の治療を受けている者は認めなかった。喫煙習慣および飲酒習慣を有する者も認めなかった。朝食習慣なし、間食あり、塩辛いものを好む対象者はそれぞれ、42名(36.8%)、61名(53.5%)、44名(38.6%)であった。収縮期血圧は80~138mmHg(平均±標準偏差： $111 \pm 13$ mmHg)、拡張期血圧は48~88mmHg(平均±標準偏差： $66 \pm 9$ mmHg)、脈拍数は56~114bpm(平均±標準偏差： $75 \pm 11$  bpm)であった。

表1

対象者(114名)の基本属性

年齢(才)	20 ± 1
Body mass index ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	20.7 ± 2.2
やせ型(BMI<18.5 $\text{kg}/\text{m}^2$ ) 人数(%)	22 (19.3)
朝食習慣なし 人数(%)	42 (36.8)
間食あり 人数(%)	61 (53.5)
塩辛いものを好む 人数(%)	44 (38.6)
歩行時間(分)	42 ± 35
睡眠時間(時間)	6.3 ± 1.1
収縮期血圧(mmHg)	111 ± 13
拡張期血圧(mmHg)	66 ± 9
脈拍数(bpm)	75 ± 11
平均値±標準偏差	

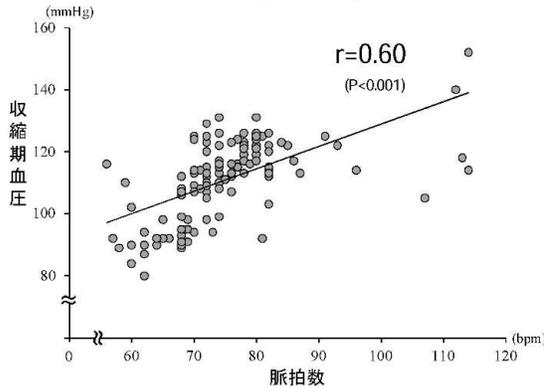
##### 4-2. 収縮期血圧の違いによる対象者の基本属性を表2(別紙)に示す。

総数114名の中で低血圧者は29名(25.4%)であった。低血圧群は正常血圧群と比較して、BMI値および脈拍数が低く、歩行時間および睡眠時間は短かった。一方、やせ型、朝食習慣のない者、間食のある者、塩辛いものを好む者の割合が高かった。BMI値、やせ型および朝食習慣のない者の割合、歩行時間、脈拍数は2群において有意差を認めた。低血圧群の収縮期血圧、拡張期血圧、脈拍数はそれぞれ $92 \pm 4$  (mmHg)、 $59 \pm 7$  (mmHg)、 $66 \pm 5$  (bpm)であった。正常血圧群の収縮期血圧、拡張期血圧、脈拍数はそれぞれ $117 \pm 8$  (mmHg)、 $69 \pm 8$  (mmHg)、 $78 \pm 11$  (bpm)であった。

##### 4-3. 収縮期血圧と脈拍数の関連について図1に示す。

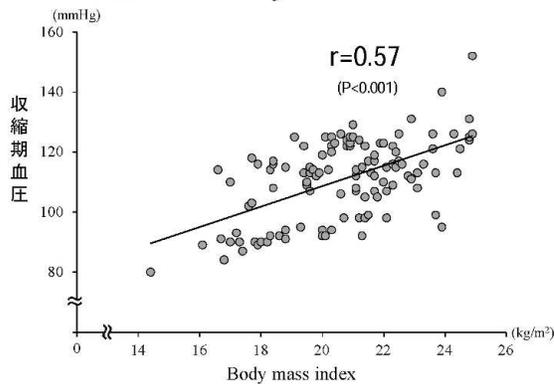
全対象者を解析した結果、脈拍数と収縮期血圧は正の相関を認め、相関係数は0.60 ( $p < 0.001$ )であり有意差を認めた。

図1 収縮期血圧と脈拍数との関連



4-4. 収縮期血圧とBMIの関連について図2に示す。全対象者を解析した結果、BMIと収縮期血圧は正の相関を認め、相関係数は0.57 ( $p<0.001$ )であり有意差を認めた。

図2 収縮期血圧とBody mass indexとの関連



4-5. 低血圧に対する各項目の調整オッズ比を図3(別紙)に示す。

年齢(1歳増加)、朝食習慣なし、間食あり、塩辛いものを好む、歩行時間(10分増加)、睡眠時間(1時間増加)、BMI(1kg/m<sup>2</sup>減少)を説明変数として多重ロジスティック解析を行った結果、朝食習慣なし、BMI(1kg/m<sup>2</sup>減少)が有意な因子であった。朝食習慣なしの調整オッズ比は2.86(95%信頼区間:1.01~8.01,  $P<0.05$ , BMI(1kg/m<sup>2</sup>減少

)の調整オッズ比は1.65(95%信頼区間:1.26~2.16,  $P<0.001$ )であった。

4-6. 低血圧に対する各項目の調整オッズ比を図4(別紙)に示す。

年齢(1歳増加)、朝食習慣なし、間食あり、塩辛いものを好む、歩行時間(10分増加)、睡眠時間(1時間増加)、やせ型を説明変数として多重ロジスティック解析を行った結果、朝食習慣なし、やせ型が有意な因子であった。朝食習慣なしの調整オッズ比は2.97(95%信頼区間:1.09~8.14,  $P<0.05$ )、やせ型の調整オッズ比は6.72(95%信頼区間:2.13~21.24,  $P<0.001$ )であった。

4-7. 低血圧に対する朝食習慣および体型の調整オッズ比を図5(別紙)に示す。

年齢(1歳増加)、間食あり、塩辛いものを好む、歩行時間(10分増加)、睡眠時間(1時間増加)を調整因子として多重ロジスティック解析を行った結果、朝食習慣ありで正常体型の対象者を基準として検討した結果、朝食習慣なしで正常体型の対象者の低血圧に対する調整オッズ比は2.58( $P=0.12$ )、朝食習慣ありでやせ型の対象者の低血圧に対する調整オッズ比は5.47( $P=0.03$ )、朝食習慣なしでやせ型の対象者の低血圧に対する調整オッズ比は23.47( $P<0.01$ )であった。

## 5. 考察

今回の研究で、若年女性の低血圧の原因として、やせ型および朝食習慣なしが独立した有意な危険因子であり、さらにこの2因子の重複は有意差をもって相乗的にリスクを増加させることが明らかとなった。

平成 24 年の厚生労働省の国民健康・栄養調査によると、20 才代女性の平均 BMI 値は  $20.8 \text{ kg/m}^2$  であり、BMI 値が  $18.5 \text{ kg/m}^2$  未満のやせの割合は 21.8% とやせ型体型が多いことを報告している [1]。また、朝食習慣なしの対象者の割合は男性 10.7%、女性 6.0% であり、年齢別の検討では、20~30 才代でその割合が高いことを報告している [1]。以上の結果より、最近の日本人若年者は男女を問わず体型的にやせ傾向になっており、さらに朝食を中心とする食習慣が悪化していることが示唆される。本研究においても、やせ型の対象者は 19.3%、朝食なしの対象者は 36.8% であり先行研究と同様な結果が得られた。

やせ型が低血圧を来す機序として以下の原因が考えられる。BMI の低下は基礎代謝を低下させることを Marra らは報告している [7]。さらに小平らは、基礎代謝の低下は自律神経のバランスが崩れること、特に交感神経活性を抑制し相対的に副交感神経が優位になることにより心拍数を低下させ血圧を低下させることを報告している [8]。したがって、BMI 低下は基礎代謝を低下させ、結果として血圧低下を来たす可能性が高いことが示唆される。本研究の対象者においても、脈拍数と収縮期血圧は有意な正の相関を認めていること (図 1)、BMI と収縮期血圧は有意な正の相関を認めていること (図 2) より、本機序は本研究結果にも該当することが考えられる。次に、血中ナトリウム濃度に関連したホルモン作用が原因と考えられる。本研究の研究者において、「塩辛いものが好き」の対象者の割合は、低血圧群 41.4%、正常血圧群 37.6% と有意差はないが低血圧群で高い傾向にある。この状況は低血圧者においては血中ナ

トリウム濃度が低下し体外からのナトリウム補給を要している状況が考えられる。このような体内状況は、腎臓からのナトリウムの再吸収促進が必要となり、副腎皮質ホルモンの 1 つであるアルドステロン濃度の上昇を来し、フィードバック機構として腎臓から分泌されるレニンの分泌が低下することが考えられる。レニンは生理学的に血中アンギオテンシノーゼンをアンギオテンシン I に変換する作用を有している。アンギオテンシン I は肺から分泌されるアンギオテンシン変換酵素によりアンギオテンシン II に変換される。アンギオテンシン II は強力な血管収縮作用を有するため血圧上昇を来す。したがって、レニンの分泌低下は、アンギオテンシン II の分泌低下を来し、血管収縮作用を減弱させることにより血圧低下を来たす可能性が考えられる。この一連のホルモン作用を介した機序が影響している可能性が示唆される。

朝食なしが低血圧を来す原因として以下の機序が考えられる。まず、食生活が悪いことは基礎代謝の低下につながることを報告されている [9]。本研究において低血圧群は正常血圧群と比較して、朝食習慣なしの割合が 58.6 vs 29.4 (%)、間食がある者の割合が 65.5 vs 49.9 (%) と低血圧群で食生活が悪い結果となっている。食生活が悪いと、栄養バランスの偏り、具体的にはビタミン、ミネラル、食物繊維が不足する可能性が高く、中でも穀物に多く含まれているミネラルであるマンガンの摂取不足を来すことにより、体内における糖質、脂質、タンパク質の代謝障害に関与するとともに基礎代謝の低下を来たすことを Jouihan らは報告している [10]。本研究対象者においても食習慣

が悪いことにより基礎代謝低下を来し低血圧を来した可能性が示唆された。中坊らは青壮年期の食生活において特に朝食習慣がないことは、ビタミン、ミネラル、食物繊維、タンパク質などの栄養素の充足率の低下につながりやすいと報告している[9]。次に、朝食を定期的に摂取することは栄養面のみならず、生理学的に消化管の血流を増加させることにより食事誘発性熱産生を活性化し体温上昇および心拍数を増加させることが報告されている[11,12]。したがって、朝食習慣なしの者はある者と比較して、心拍数が上昇しづらい身体的状況が継続する可能性が考えられる。本研究においても朝食習慣なし、ありの対象者の心拍数はそれぞれ  $71 \pm 6$  vs.  $78 \pm 12$  (bpm) であり、朝食習慣なしの対象者が低く有意差を認めた ( $P < 0.01$ )。(論文中にデータ提示なし)。この結果、朝食習慣なしの者は血圧低下を来したと考えられる。さらに小野寺らは、朝食習慣がない者はありの者と比較して、昼食後における心拍数増加が弱い傾向にあることにより慢性的な交感神経活性の鈍化および相対的な副交感神経活性の上昇があることを報告している[13]。この状況は日常生活において常に心拍数が低い状態が継続し血圧低下を来しやすい状況にあると考えられる。以上の先行研究結果より、朝食習慣なしの者はありの者と比較して、心拍数および基礎代謝低下を機序として血圧低下を来したと考えられる。

低血圧に対する朝食習慣なしと体型を複合的に検討した結果では、朝食なしでやせ型の対象者は朝食習慣ありで正常体型の対象者と比較して、低血圧に対するリスクは 23.47 倍となり、この 2 つの因子の相乗はリスクの増大を

助長する結果となった。機序として、朝食習慣が無いことにより食事から摂取するミネラル不足により交感神経活性が抑制されること、やせ型により副交感神経活性が活性化されこと、以上 2 つの機序を介して心拍数減少および血管拡張作用が著明となり相乗的にリスクを増大させた可能性が示唆されるが、詳細については今後の研究成果が待たれるところである。

河本らの報告によると、最近の 14 年間で若年女性が理想とする体重と BMI 値が年々低下していること、さらに BMI が正常値であるにもかかわらず、痩せたいと考えている対象者が 71.9% 存在することを報告している[14]。さらに、現状において  $18.5 \text{ kg/m}^2$  未満のやせ型であるにも関わらず、現状の体型を維持したい、さらに痩せたいと考えている対象者が 13.9% 存在することを報告している[14]。これらの結果より、若年女性のやせ願望が強いこと、さらに誤った体型認識が蔓延している可能性が高いことが示唆され、血圧を正常に保持するためには体型に対する意識改革が重要であることを啓蒙する必要性が強く示唆される。

## 6.まとめ

若年女性において、やせ型および朝食習慣なしの習慣は低血圧に対する有意な独立した因子であるとともに、この 2 因子は有意差をもって相乗的にリスクの増加を来すことが明らかとなった。

以上の結果より、若年女性において血圧を正常に保持するためには、食習慣および正常体型に留意し日常生活を送ることが重要であることが強く示唆された。

## [謝辞]

本研究にあたり、データ収集および整理に尽力してくれた、北海道情報大学 経営情報学部 医療情報学科 4年の渡部菜々さん（現：北海道厚生農業連合会総合職）に深謝致します。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省. (2012) 平成 24 年国民・栄養調査. pp.134.
- [2] Pemberton J. (1989) Does constitutional hypotension exist? *BMJ* 298, pp.660-2.
- [3] Parati G, et al. (2009) Chronic hypotension and modulation of autonomic cardiovascular regulation. *Hypertens Res* 32, pp.931-3.
- [4] Wessely S, et al. (1990) Symptoms of low blood pressure: a population study. *BMJ* 301, pp.362-5.
- [5] 日本肥満学会肥満症診断基準検討委員会. (2000) 新しい肥満の判定と肥満症の診断基準. *肥満研究* 6, pp.18.
- [6] Scuteri A, et al. (2012) Occurrence of hypotension in older participants. Which 24-hour ABPM parameter better correlate with? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 67, pp.804-10.
- [7] Marra M, et al. (2007) BMR variability in women of different weight. *Clin Nutr* 26, pp.567-72.
- [8] 小平洋子. (2001) 若年性女性におけるやせが自律調節機能に及ぼす影響. *日本食生活学会誌* 12, pp.242-47.
- [9] 中坊幸弘, 木戸康弘. (2009) 応用栄養学 第2版. 講談社 東京 pp.75-95.
- [10] Jouihan HA, et al. (2008) Iron-mediated inhibition of mitochondrial manganese uptake mediates mitochondrial dysfunction in a mouse model of hemochromatosis. *Mol Med* 14, pp.98-108.
- [11] Kelbaek H, et al. (1989) Central haemodynamic changes after a meal. *Br Heart J* 61, pp.506-9.
- [12] Uijtdehaage SH, et al. (1994) Effects of carbohydrate and protein meals on cardiovascular levels and reactivity. *Biol Psychol* 38, pp.53-72.
- [13] 小野寺昇 野西山. (2012) 朝食摂取習慣の有無が朝食後の舌下温, 心拍数及び自律神経系活動に及ぼす影響. *川崎医療福祉学会誌* 22, pp.37-43.
- [14] 河本直樹 池福村. (2008) 成年女子の痩せ志向 *日本公衛誌* 55, pp.777-85.

表2

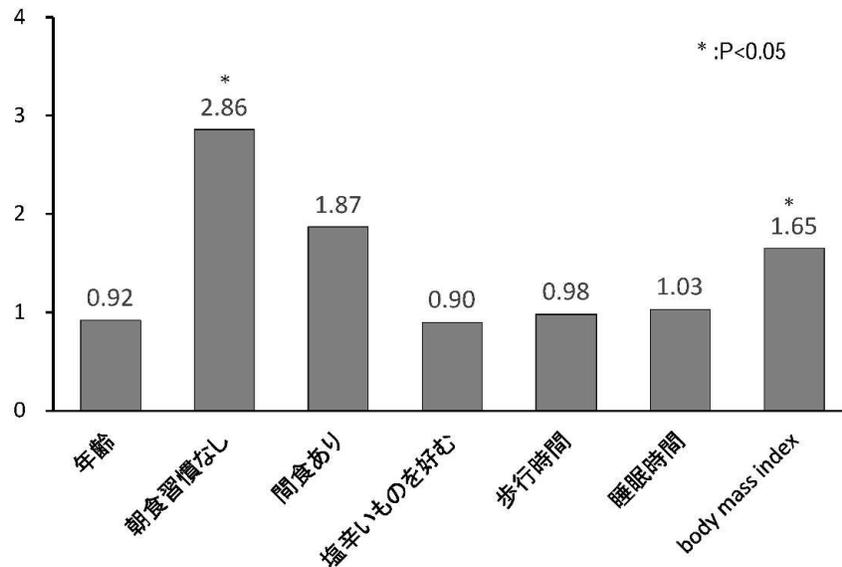
## 収縮期血圧の違いによる対象者の基本属性

	低血圧群 (n=29)	血圧正常群 (n=85)	P値
年齢 (才)	20 ± 1	20 ± 1	0.48
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	19.1 ± 2.3	21.2 ± 2	<0.001
やせ型 (BMI <18.5kg/m <sup>2</sup> ) 人数 (%)	13 (44.8)	9 (10.6)	<0.001
朝食習慣なし 人数 (%)	17 (58.6)	25 (29.4)	0.01
間食あり 人数 (%)	19 (65.5)	42 (49.4)	0.13
塩辛いものを好む 人数 (%)	12 (41.4)	32 (37.6)	0.72
歩行時間 (分)	30 ± 15	46 ± 39	0.04
睡眠時間 (時間)	6.3 ± 1.3	6.4 ± 1.1	0.65
収縮期血圧 (mmHg)	92 ± 4	117 ± 8	<0.001
拡張期血圧 (mmHg)	59 ± 7	69 ± 8	<0.001
脈拍数 (bpm)	66 ± 5	78 ± 11	<0.001

平均値±標準偏差

図3

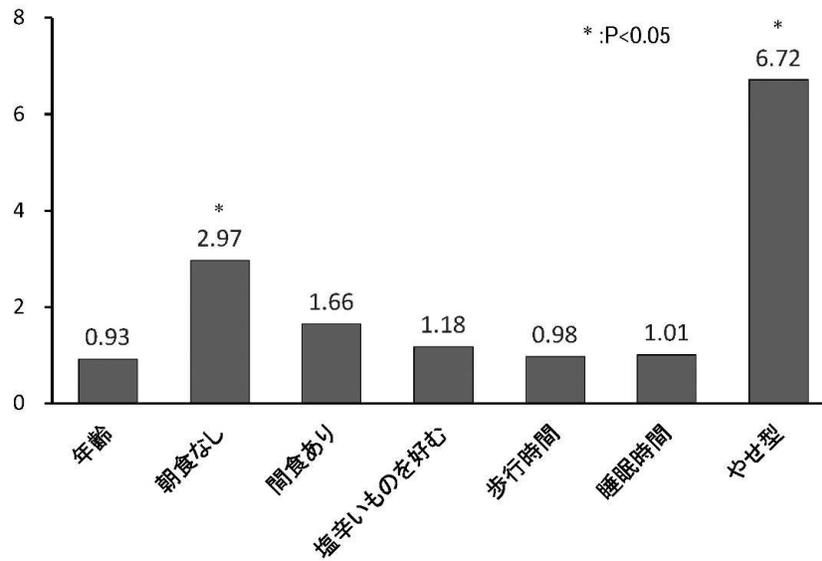
## 低血圧に対する各項目の調整オッズ比



年齢は1才増加、歩行時間は10分増加、睡眠時間は1時間増加、body mass indexは1kg/m<sup>2</sup>減少における調整オッズ比を表す。朝食なし、body mass indexは有意な因子であった。

図4

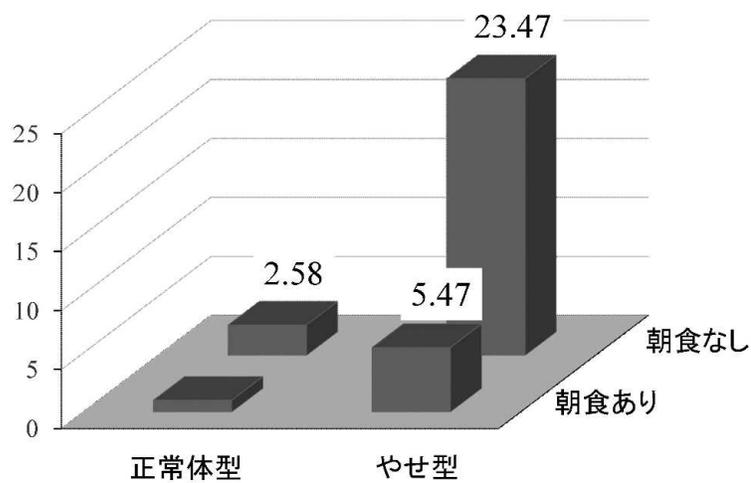
低血圧に対する各項目の調整オッズ比



年齢は1才増加、歩行時間は10分増加、睡眠時間は1時間増加における調整オッズ比を表す。朝食なし、やせ型体型は有意な因子であった。

図5

低血圧に対する朝食習慣および体型の調整オッズ比



朝食ありの正常体型者を基準として、朝食無しのやせ型体型者の低血圧に対するオッズ比は23.47であり、2因子の相乗的なリスク増加が認められた。



## 〈論 文〉

**ネット依存が道徳性の発育に及ぼす影響**

——〈他なるもの〉との関係、および〈自己〉との関係の喪失——

後藤 雄太\*

**The Bad Influence of Internet Addiction  
on Morality of Japanese Youth:  
Loss of Relationships with Others and Oneself**  
Yuta GOTO\*

## 要旨

本稿の目的は、ネット依存が「青少年における道徳性の発育」に与えると危惧される悪影響について考察することにある。その際、考察の主眼は、道徳性の基礎要素としての「関係」の喪失に置かれている。まず前半では、この社会を構成する人々たちをはじめ、文化、歴史、自然、といった、人間を包み込む〈他なるもの〉と関係していく力の喪失について論じている。また、それと関連して、ケータイ・スマホによる「危険な他者・情報」との安易な接触が深刻化させた諸問題——いわゆる「援助交際」や有害情報の蔓延をはじめとする——にも言及している。続いて後半では、自己を省みる、自己を鍛える、自己を治める、といった「自分自身への働きかけ」の力——すなわち、自己が自己へと関係していく力——の喪失について論究している。

## Abstract

This paper aims to analyze how Internet addiction exerts a bad influence on morality of Japanese youth. I particularly pay attention to the loss of “relationships” which I regard as the basic factor of morality. First, I discuss the loss of ability to have a relationship to “others”, e.g. individuals of whom our society consist, culture, history, and nature, etc., by that human being are surrounded. In connection with this, I refer to several problems, e.g. child prostitution, and the spread of obscene information, which are getting worse by easy access to dangerous others and harmful information through cell-phone and smart phone. Then, I discuss the loss of ability to have a relationship to “oneself”, i.e. one’s own ability to have an effect on oneself, e.g. self-reflection, self-discipline, and autonomy, etc.

## キーワード

ネット依存(Internet addiction) 道徳(moral) 倫理(ethics) 関係(relationships)

\* 北海道情報大学医療情報学部医療情報学科准教授, Associate Professor, Department of Medical Management and Informatics(Dept. of MMI), HIU

## 1 はじめに

携帯電話（以下、「ケータイ」と略記する）、そしてスマートフォン（以下、「スマホ」と略記する）の普及とともに、現代人——特にヘビーユーザー層である青少年——におけるネット依存が、日本社会においてもようやく深刻な社会問題と見なされ始めている。2012年秋に行われた厚生労働省科学研究所の調査によれば、ネット依存が疑われる中高生は、全体の8.1%にのぼり、その数は実に約52万人と推計されている（大井, 2013）。そして、その依存性の高さはアルコールや薬物への依存に匹敵するという、精神科医からの指摘もある（岡田, 2014）。

本稿の目的は、こうしたネットへの没入が「青少年における道徳性の発育」に与えると危惧される悪影響について考察することにある。考察の主眼は、道徳性の基礎要素としての「関係」の喪失に置かれている。

まず前半では、この社会を構成する人々はもちろんのこと、文化、歴史、自然、といった、自らを包み込む＜他なるもの＞と関係していく力の喪失に焦点を当てる。また、それと関連して、ケータイ・スマホによる「危険な他者・情報」との安易な接触が深刻化させた諸問題——いわゆる「援助交際」や有害情報の蔓延をはじめとする——にも言及する。

続いて後半では、自己を省みる、自己を鍛える、自己を治める、といった「自分自身への働きかけ」の力——すなわち、自己が自己へと関係していく力——の喪失について論究する。

## 2 <他なるもの>と関係していく力の喪失

### 2-1 ネット依存の最大要因としての「友だち至上主義」

そもそも、どうして青少年たちは、ここまでケータイ・スマホに魅せられ、没入しているのか？ 彼らのケータイ・スマホへの没入の背景には、「友だち至上主義」「コミュニケーション至上主義」とでも言うべき傾向がある。

この傾向は、様々な調査データから読み取ることができるが、以下にいくつか挙げておこう。まず、内閣府『平成27年版 子ども・若者白書』によれば、「大切だと思うこと」は何かという問い（選択肢から複数回答）に対して、「健康である」に次いで多かった回答は「友達がたくさんいる」であった。しかも、その回答数は「勇気を持っている」「人のいやがることをすすんでやる」「勉強ができる」「いろいろなことを知っている」といった項目の回答数に比べて圧倒的に多く、約6割の子どもたちが選択している（内閣府, 2015）。また、2009年に内閣府が行った「国民生活選好度調査」によれば、「幸福度を判断する際、重視した事項」として、約6割の若者（15歳～29歳）が「友人関係」と答えており（複数回答）、上の世代と比べて突出して高くなっている（内閣府, 2010）。こうした友人関係重視の傾向は、特に1990年代後半あたりから、顕著になってきた。このことを示すデータとしては、例えば内閣府「世界青年意識調査」がある。この調査によれば、充実感や生きがいを感じる時として「友人や仲間といるとき」を挙げている若者が増加傾向にあり、1970年には38.8%だったが、1998年以降は74%前後で高止まりしている（内閣府, 2009）。<sup>1)</sup>

また、以上のような調査データに加え、特に2000年代以降に流行した「若者言葉」には、友人関係やコミュニケーションにまつわるものが異様に多いことにも注意を払う必要がある。例えば、「空気が読めない人」を意味する「KY」、「コミュニケーション障害」を意味する「コミュ障」、「異性に好かれない人」を意味する「非モテ」、「ひとりぼっち」を意味する「ぼっち」といった語群である。また、「便所飯」というスラングは、「学食でひとり昼食をとる

<sup>1)</sup> 他にも、青少年における友人関係偏重を示す一例として、地方の若者における「地元志向」の高まりが挙げられる。注意すべきは、彼らが言うところの「地元」の人間関係というのは、あくまで友人関係と家族関係に限定されており、地域社会における人間関係は除外されていることである（阿部, 2013）。さらに、宮本(2009)によれば、友人関係の偏重は、伝統的に女子に強く見受けられる傾向だったが、近年では、性差がなくなっているという。

姿を見られることによって、周囲から友だちのいない人間と思われたくないため、トイレの個室に隠れて食事をする」を意味する。さらに「スクールカースト」というスラングは、「教室・学校内における人気、友人の多寡を基準にした序列・差別構造」を意味している。言うまでもなく、これらの言葉のいずれもが、「友人がいないこと、周囲にうまく溶け込めないこと、孤独であること」への侮蔑を含意した言葉である。そして、何より注意すべきことは、これらの言葉は、大人による一方的なレッテル——かつての「新人類」や「ゆとり」のような——ではなく、青少年のあいだから自然に生まれ出てきた自己規定的な言葉だということである。自己規定的である分、彼らの生きる現実を巧みに描き出してくれているように思われる。

さて、以上の事実が示しているように、現代の青少年にとって何より大事なものは、「友だち」なのであり、その有無や多寡によって彼らの生活の充実感や自己肯定感は大きく左右される。それゆえ、彼らは友人関係の構築・維持・拡大に膨大なエネルギーを投入することになる。

友人関係を和やかに保つため、彼らにおいて最重要視されるマナーが「空気を読む」ことである。すなわち、互いの顔色を伺いあい、うまくその場の「ノリ」に合わせることで、場の雰囲気を楽しく盛り上げること、波風を立てないこと、決して「上から目線」に立たないこと、等に細心の注意が払われる。

こうした友だち至上主義という背景のもと、互いの結びつきを確認し合うために、今や必要不可欠になっているアイテムがケータイ・スマホというわけである。彼らは、学校外でもメールや SNS を通して、常に仲間とつながり続けようとする。言うまでもなく、インターネットは本来ならば、世界中の多様な人々との交流を可能にするツールではあるが、実際のところ青少年がネットを通して交流しているのは、主に顔見知りの友人であり、学校の仲間たちである（土井, 2008）。そもそもメディア史を振り返ってみても、ケータイというメディアは、1990年代半ば頃から、友人たちとの「コミュニケーションツール」として——ポケットベルを継承するものとして——

若年層から爆発的に普及していったメディアであった。すでに当時から指摘されていたように、青少年たちにとっては「フルタイム・インティメイト・コミュニティ」（仲島ほか, 1999）を維持するためのツールが、ケータイであり、スマホなのである。

そして、こうした状況は徐々にエスカレートしていき、現在では少なからぬ青少年たちが依存症的な状態へと陥ってしまったわけである。このことに関連するデータも、いくつか挙げておこう。冒頭でも言及した厚生労働省科学研究の調査によれば、平日に学業以外の時間で、中学生の5人に1人、高校生の3人に1人は、1日3時間以上ネットを使用しているという（大井, 2013）。特にヘビーユーザーの多い女子高校生にいたっては、1日に平均7時間ケータイ・スマホを利用しているという調査結果もある（デジタルアーツ株式会社, 2015）。なお、現在若者たちのあいだで最も頻繁に利用されている SNS である LINE——これは、代表的な SNS の中でも最もクローズドな性質を有するがゆえに、「フルタイム・インティメイト・コミュニティ」を築くことが極めて容易なのであるが——の利用者は、総務省（2014）によれば、10代で71%、20代で80%に達する。

もちろん青少年たちは、ケータイ・スマホを通して既知の友人関係にのみ没入しているわけではない。遠藤・墨岡(2014)によれば、ネット依存者は、大きく2つのタイプに分けられる。まず一つ目のタイプが、これまで本論で言及してきたような、ケータイ・スマホを通して主に現実世界の仲間との交流に没入する「モバイル型」である。そして、もう一方のタイプが「インドア型」である。こちらは、主に自宅からパソコンや家庭用ゲーム機などを通して、特にオンラインゲームに没入するタイプであり、SNS 普及以前はネット依存の主流を占めていたタイプである。現実世界へのコミットメントに関して、前者は積極的、後者は消極的であるという点において、両者は対照的なタイプではある。しかし、オンラインゲーム依存に陥る大きな要因の一つは、SNS 依存の場合と同様、やはり「コミュニケーション至上主義」「友だち至上主義」であることに注意を払わなくてはならない。オンラインゲーム中毒者のほとんどは、

ゲームをひとりでプレイしているわけではない。彼らは、単にゲームそれ自体だけでなく、ゲームを通して「他のプレイヤーたちとのコミュニケーション」を楽しんでいるのである。多くのオンラインゲームにおいて、プレイヤーは数人でチームを作りプレイする。そして、そこで生まれた仲間意識や、チームにおける役割に対する義務感ゆえに抜けられなくなってしまうというのが、オンラインゲーム中毒の典型的パターンである。特に、現実世界において友人関係を結べていなかったり、何らかの不全感を抱いている者は、オンラインゲームの世界により魅了されやすいようである。非日常的な舞台上で仲間とともに冒険や戦闘などの様々なミッションをクリアしていくことに、現実世界では味わえないような一体感や高揚感、そして使命感を感じるようになる。また、上達すればするほど、他のプレイヤーからの注目や賞賛を浴びることになり、時には「神」扱いされることさえある。こうして、ゲームの世界こそが「自分の本当の居場所」になってしまうのである（遠藤・墨岡, 2014; 樋口, 2014）。竹野 (2015)も、若年層は、オンラインゲームに「自尊感情」の充足と「承認」を求めていると結論付けている。

## 2-2 公共意識の衰退へ

ネット依存、ひいてはその大きな要因の一つである「友だち至上主義」がもたらす悪影響——特に「道徳性の発達」に対する悪影響——のひとつとして、まずは「公共意識の衰退」が挙げられる。

社会学で言うところの「結合定量の法則」によれば、人間が他者と持つことのできる人間関係の量は基本的に一定である。人間ひとりが他者に費やすことのできるエネルギーや時間は有限なのだから、友人関係に青少年たちのエネルギーが集中すればするほど、「友だち以外の人間」とのつながりは断たれていく。友人以外の人間は、あたかも存在しないかのように扱われ、配慮の対象とはならない。時に、驚くほど冷酷な行動や失礼な態度をとってくることもある。「仲間以外はみな風景」(宮台, 1997, p.189)というわけだ。他者をあまりにも安易に選別し、仲間以外の人間は、単なる異物、ノイズとして排除していく。

こうした公共空間への無関心ぶりが最も分かりやすい形で表れているのが、近年マナー違反として大きく問題視され始めている「歩きスマホ」、すなわち歩行中のスマホ利用であろう。単に通行を妨害しているばかりでなく、他の歩行者や視覚障害者にぶつかってケガを負わせたり、本人が駅のホームから転落するといった事故も報告されている。彼らの関心はスマホの画面に集中し、その配慮が周囲に向けられることはない。道という公共空間を共にしているはずの他の通行者たちは、彼らにとって、まさに「風景」にすぎないのだろう。

SNS 利用に際しても、「自分の仲間からしか見られていない」と思い込んでしまっているためであろう、平気で誹謗中傷や個人情報などを投稿してしまう。2013年には、様々な悪ふざけの行為——例えば、バイト先のコンビニの冷凍庫に寝そべる、駅のホームの線路の上に降りる、遊園地でジェットコースターから身を乗り出す、パトカーの上に乗る、など——を撮影した画像・動画を投稿してしまい、その結果「炎上」を招き、自らの個人情報やネット上に晒されてしまうという事件が多発し、大きく報道もされた。おそらく投稿した若者たちは、自分の友人たちを楽しませるため、すなわち「仲間ウケ」をねらって、特に悪気もなく——それどころか、ある種の「善意」から——投稿したにすぎなかったのだろう。しかし、彼らには、「仲間以外の人間からの眼差し」に対する感受性が決定的に欠けていたのである。

さらに悪辣な事例を挙げよう。2008年に秋葉原で起きた通り魔事件の現場は、被害者たちが倒れる路上の様子をケータイのカメラで撮影する野次馬たちで溢れた。なかには動画サイトを通して実況中継を始める者さえいた。彼らにとっては、被害者たちが流血し苦しむ姿でさえ、仲間内で盛り上がるための「ネタ」に過ぎないのだろう。

以上に挙げた諸事例は、「ケータイを利用する際の公共意識の欠如」を示すものであるが、言うまでもなく、公共意識の欠如が見受けられるのは、直接ケータイを利用している場面に限らない。例えば、授業中の私語・居眠りやいじめ、「荒れる成人式」などの例が挙げられる。これらの例におい

ては、必ずしも直接ケータイが利用されているわけではない。しかし、日頃のケータイへの没入によって内向きに「折り癖」のついたメンタリティが、多少なりとも関係していることは否めないだろう。

ところで、誤解のないよう、ここで強調しておきたいが、ケータイの普及が原因で「公共意識の衰退」が起こったと本稿は主張しているわけではない。「公共意識の衰退」ひいてはその背後にある人間関係の「内閉化」それ自体は、すでに1990年代半ば頃から、現代日本における青少年の人間関係の在り方の際立った特徴として、「島宇宙」(宮台, 1994)、「村社会」(NTTアド, 2000; 浅羽, 2001)<sup>2)</sup>、「みんなぼっち」(富田ほか, 1999)などといったキーワードによって、多くの論者から指摘されてはいた。例えば教室内でも、4月の早い段階で、数人の似たタイプの者同士で友だちグループを作り、その友だちグループ内のみ人間関係を固定してしまい、各グループ間は没交渉となってしまうといった具合に――。

それでは、そもそもこうした人間関係の「内閉化」はなぜ生じたのだろうか。明確な原因を特定するのは困難であり、本稿では詳論できないが、青少年に対する、いわゆる「社会的包摂」の弱化は大きな要因として挙げられるだろう。

少なくとも現段階で言えることは、ケータイの普及は、人間関係の「内閉化」の直接的原因ではないものの、そうした傾向を強化し加速していく役割を担ってきたのは間違いないということである。もともと社会に存在していた、人間関係を「内閉化」していくという志向が、内閉化の促進・徹底を可能にするツールとしてケータイを見出し、爆発的に普及させるとともに、SNSをはじめとする「つながる」ための様々な技術やサービスを発展させてきたのだろう。

ケータイの普及を一要因とする内閉化の進行によって、青少年における「世界との断絶」は深まっていく。そして、その断絶は、仲間以外の他者との関係の断絶にとどまらない。社会問題や時事問題、さらに私たち人間を包み込む文化・歴史・自然な

どといった、より広大な世界への無関心にもつながっている<sup>3)</sup>。おそらく、そうした無関心は、昨今の学力低下や読書離れ<sup>4)</sup>の一要因にもなっていると推測される。

1990年代のインターネット普及期には、ネットこそは、世界中の多様な人々との交流を可能にし、「グローバルヴィレッジ」を実現するツールとして持て囃された。しかし、少なくとも現時点では、皮肉なことに、ネットはむしろ正反対の役割を果たしていると言わざるをえない。すなわち、人々を閉じられた小集団へと分断していく、というのが、現時点でのネットの主な役割になってしまっている。インターネットは、現実世界では出会いにくいような「同じ趣味や関心を持った仲間」を容易に見つけることを可能にしたため、ネット上では、趣味のページなど「同質の人間の内閉的なコミュニティ」が乱立している。また、例えばツイッターでは、自分と似た嗜好・思想の人だけフォローすれば、タイムラインは自分好みの発言で埋め尽くされるため、あたかも自分は「多数派」に属しているかのように錯覚できる。さらに世界情勢を見ても、ネットは、地理的な条件を問わず、同民族や同宗教、同イデオロギーの人々が結束することを容易にしたため、むしろ現在のナショナリズム、テロリズムの後押しをしてしまっている面もある。<sup>5)</sup> 昨今社会問題になっているヘイトスピーチの蔓延も、こうしたネットの排他的性質と決して無関係ではないだろう。

さて、本来ならば、こうした内閉化という風潮に抗し、主に学校が公共意識を育む役割を担わなくてはならないわけだが、今や学校も機能不全を起こしている。教師でさえも「友だち至上主義」には逆らえない。「上から目線」から子どもを叱るなど、も

<sup>3)</sup> 誤解のないよう急いで付言しておけば、「昔はよかった」「昔に帰れ」と本稿は主張したいのではない。かつての日本人が主に依拠していた人間関係——「世間」「地域」「会社」などは、現代の若者が依拠する人間関係に比べて、あくまで「相対的に」大きかったに過ぎず、「排他的」という性質から自由であったわけではないからである。

<sup>4)</sup> 全国大学生協連(2014)によると、大学生の40.5%が、一日の読書時間をゼロと回答した。

<sup>5)</sup> このことを早い時期から指摘していた論文は、大澤(1999)である。

<sup>2)</sup> 近年では、原田(2010)にも見受けられる。

ってのほかである——場の空気を乱すことほど「悪い」ことはないのだから。本来ならば、「異質な他者」として、子どもたちに公共意識を身に着けさせなければならない立場にある大人たちが、子どもたちの顔色を伺い、媚び諂い、「ノリ」に合わせて、子どもたちの「お友だち」「よい人」になろうとする。このような教師の無力化は、結果的に教室を無法地帯にし、「いじめ」の発生要因の一つにもなっている。担任が生徒に友だちのように接する「なれ合い型」の学級の方が、担任が厳しい「管理型」よりも、いじめが発生しやすいという調査報告もある（河村, 2007）。上っ面の「やさしさ」ゆえに、その裏では、度し難い残酷さがはこびってしまっているのである。今や学校は、彼らの「プライベートルーム」の延長にすぎず、未来のクレーマーやモンスター——自分の「権利」ばかり過剰に主張し、公共世界へ配慮しようとしないう人間——を養成する場へと墮しつつある。

### 2-3 他者との〈距離感覚〉の喪失 ——危険な他者や情報との接触が もたらす諸問題

以上に見てきた人間関係の内閉化は、青少年たちが危険な他者や情報と安易に接触してしまう背景のひとつにもなっていると考えられる。この社会には、多種多様な人間や情報が存在している。残念なことではあるが、そこには悪人や悪質な情報も少なくない。同質の人間との関係に引きこもってきた青少年たちには、そうした世界の闇の部分に対する注意力が欠如しているため、いとも簡単に危険な人間——特に、甘言を弄して、自分を「承認」「理解」してくれていると青少年を錯覚させるような人間——や有害な情報に接触してしまう。そこには、他者や情報との適切な〈距離感覚〉の喪失が見受けられる。

そして、ケータイ・スマホというメディア特有の性質が、危険な他者や情報との安易な接触を加速させている。すなわち、ケータイとは、単に「携帯可能な電話・端末」であるだけでなく、「個人専用の電話・端末」でもあるという点に、その大きな特質がある。電話普及の歴史を振り返れば、それはまさに「パーソナル化」の歴史であ

った。かつては業務用であった電話が、1970年代に各家庭に普及していく。1980年代後半あたりからはコードレス電話が普及していき、電話機は、さらにプライベートな領域である各個室へと入っていく。そして遂に、1990年代後半のケータイの普及によって、電話機は、完全に個人専用のものとなったわけである。こうして、完全に個人専用のものとなった電話機であるケータイは、その特質ゆえ、従来であればアクセス困難であった危険な他者・情報とも容易にアクセスすることを可能にしまった。すなわち、ケータイは、周囲の人間の目の届かないところで、子どもたちが直接的に他者と結びつくこと（いわゆる「ダイレクトリンク」）を可能にしたため、家族・学校・地域などによる保護が及びにくくなってしまったのである。

そして、そのことが、周知の様々な犯罪やトラブルにつながっているわけである。犯罪・トラブルの典型例は、児童売春であろう。もちろん、歴史を振り返ってみれば、売春相手を探すためのメディアとしては、ケータイの普及以前にも、テレクラやダイヤル Q2 が存在したわけではあるが、ケータイはそれらよりも売春相手へのアクセスを容易にすることによって、裾野を広げていくことになった（下田, 2014）。もちろん、売春のみならず、ネットでの出会いが、恐喝や暴行、最悪の場合には殺人へとつながっていく事例も報告されている。

違法薬物の入手にしても、従来であれば、いわゆる不良やヤクザなどとのつながりがなければ困難であったわけだが、今やネット経由で「普通の子」でも入手可能な状況になってしまっている。

いわゆる「ネット心中」も、このネット時代ならではの事件と言える。現実世界では、自殺志願者同士が出会うことはまずありえないが、ネットを用いれば、いわゆる「自殺系サイト」等を通して出会えてしまう。

危険な人間との出会いだけでなく、有害な情報へのアクセスもケータイは容易にした。有害情報の代表格とも言えるわいせつ情報にしても、現代にあつては、たとえ小学生であっても無修正のわいせつ動画を容易に閲覧できる環境になってしまっている（竹内, 2014）。

かつてならば、子どもたちは、周囲の大人たちに見守られつつ、信頼できる他人や情報を「見る目」を養っていき、少しずつ外の世界へと歩み出していった。ところが、今では、まだそうした力を修得していないにもかかわらず、ケータイさえあれば、外の世界へといきなりダイレクトにつながってしまえる。

ケータイとは、単に家庭での学習時間のみならず、人間関係における適度なく距離＞の取り方を「学ぶ時間」をも子どもから奪い去っているメディアなのである。

### 3 自己と関係していく力の喪失

前節では、内輪の人間関係への没入により、「公共意識の喪失」という問題が起きてしまっていることを指摘してきた。しかし、実のところ、青少年の人間関係において断たれてしまっているのは、友人関係以外の「外部世界とのつながり」だけではない。

人間とは、他者とのみならず、自己自身とも関係している存在者である。すなわち、自分自身と向き合い、配慮・世話（ケア）していくことによって、自分の考えなどを「深め」ていったり、自分の能力などを「高め」ていったりするのが人間である。

しかし、現代の青少年たちは、多くの時間を群れて過ごしているため、「自己との関係」も断たれてしまっている。彼らにおける関係性は、いわば「水平方向」にだけでなく、「垂直方向」にも断たれてしまっているのだ。ケータイは、孤独な時間を奪うことによって、「自己との関係」をも喪失させている。彼らの自己は放置され、本来の意味で大切にはされていない。

以下では、この垂直方向における断絶について、①自己を「深める」力の衰退と②自己を「高める」力の衰退との二つに分けて言及していく。

#### 3-1 自己を「深める」力の衰退

人間が成長していくためには、今現在の自己を省みて、問題点を発見し、何らかの対処をしていくことが必要である。しかし、常に友人とつながり続けることによって自己と向き合おうとはしないがゆえに一

しかも、その友人たちは、多くの場合、互いの御機嫌をとりあうだけの「イエスマン」であるがゆえに——自分の中に「反省回路」が形成されていなくなる。すなわち、自分の中にあるマイナス部分を見つめ、それを克服するなり、そのことが無理ならば上手くなだめて共存していきなりといった「自己との付き合い」の力が育っていないのである。

こうした力の衰退ゆえであろうか、教師から注意されても、わが身を振り返ることなく、自らの不明は棚上げしたうえで、「みんなやっている」「なぜ自分だけ叱るのだ。不公平だ」といった類の反論をしってくる子どもが増えているという現場教師からの声もある（齋藤, 2008）。こうした反省回路を欠いた子どもは、先に言及したように、クレーマー・モンスターの予備軍となっていく恐れもある。

さらに、自己観察の欠如は、分不相応なプライドをどんどん膨らませていく要因にもなりうるだろう。今現在の自分の感性や価値観を絶対視し、自分が不完全で無知な存在者であることに無知となり、傲慢になっていく。自分のなかのマイナスの部分、都合の悪い部分といった「内なる他者」ときちんと向き合っていく力の弱さは、今後の人生を生き抜くことにひどく困難をもたらすかもしれない。なぜなら、人生のなかには、自分自身が自分自身にとって受け入れがたい存在になっていくような時——例えば、失業、失恋、離婚、老い、病、死、等々——が、避けがたく訪れるからだ。都合の良いセルフイメージを作り上げてきた人間にとって、これらの試練は相当耐え難いものとなるだろう。

自分ときちんと向き合っていく力の弱さは、前節において論究したところの、異質な他者や自分の関心外の情報といった「外なる他者」と向き合っていく力の弱さとも、おそらく連動している。人間は、自分自身が他の誰とも違う孤独な存在者であり決して他と同一的な存在者ではないという自覚、すなわち「ひとりの人間」としての自覚がなければ、他者たちのことも各別各異の「ひとりの人間」として見る事ができない。「さびしさ」「かなしみ」といった、一見ネガティブな感情は、本来ならば、人間の倫理を深いところで支えている

重要な感情なのであるが(竹内,2009)、現代人、とりわけ若者たちはそうした感情を「重い」「暗い」「病んでいる」と忌避する傾向がある。若者たちは、悩み事を友人には相談しなくなっているという(土井,2014)。なぜならば、そういった(一見)ネガティブな感情を友人に露わにすることは、彼らにとって、ノリをこわす、空気を読まない「悪しき行為」だからである。「ひとりの人間」としての自覚がないところ、「仲間」たちとの「つながり」の白けた明るみの背後には、あの残酷で陰湿な二分法が常に潜んでいる。

### 3-2 自己を「高める」力の衰退

次に、自己を「高める」方向性について言及したい。ここで自己を「高める」とは、自らの教養や技能を磨きあげていき、新たな自己へと変貌していくことを意味している。

四六時中仲間と群れていたり、SNSやゲームでつながりあっていては、教養や技能は高まっていけない。学習や練習のための十分な時間が確保できないからである。すでに前節で触れたように、平日に学業以外の時間で、中学生の5人に1人、高校生の3人に1人は、1日3時間以上ネットを利用している。また、たとえ学習中であっても、ひっきりなしに新着メッセージの知らせ等が入ってきて、学習時間は分断され、集中が妨げられる。昨今の学力低下の一要因として、「仲間以外への無関心」という心理面での要因を前節で指摘したが、まずは何より、こうした生活習慣こそが大きな要因となっているように思われる。実際に、例えば「全国学力調査」の結果とケータイ・ゲームの利用時間の相関関係を見ても、当然のことながら、ケータイやゲームをする時間が長い子どもほど、成績も低い(国立教育政策研究所,2014)。

また、近年、教育現場ではグループ学習がやたらとてはやされているが、その効果を疑問視する声もある。例えば評論家のスーザン・ケインは、心理学者のアンダース・エリクソンによる調査結果等に依拠しつつ、様々な分野において、優れた者ほど「個人練習」により多くの時間を割いていることを指摘している。ケインによれば、孤独な時間こそが「集中的実践」(Deliberate

Practice)を可能にし、驚異的な成果をもたらす原因となっているのである(Cain,2012)。筆者自身の指導経験から言っても、学生に一定以上の基礎学力がなければ、集団学習は「雑談」の機会、そして学生同士の賛美——例によって、「空気」を読んだうえでの——によって「自己満足」に陥らせる機会にしかない。スマホ所有のメリットとして、LINEを通して勉強を教え合ったりできることを声高に主張する——特にスポンサーである親に対して——子どもも多いが、実際のところ、雑談に流れてしまい、勉強の妨げになっていることを告白する者もいる(遠藤・墨岡,2014)。また、竹内(2014)によれば、スマホを所持している中高生の約半分(46.4%)は、勉強に自信がないと答えており、スマホ不所持の学生(22.1%)の倍以上の割合となっている。集団学習の意義を全面的に否定するつもりはないが、やはり学習や修練の基本は「ひとり努めること」にあるのではないかと。

しかし、現代の青少年のなかには、「地道な努力」を蔑視する傾向が強く見られることも懸念される点である(齋藤,2008)。必死に努力する人間は、「痛い奴」「余裕のない奴」として嘲笑われる。例によって、「仲間」同士で、互いの向上心を牽制しあい、足を引っ張り合い、「なかよく」低きへと流れていくことによって、互いの安心を保っているわけだ。

また、こうした向上心の喪失ゆえ、今や学習意欲は、各々が自らの内奥から引き出してくるものではなく、教師によって生み出されなければならないものになった。教師はエンターテイナーとして、「面白く」「分かりやすく」授業をし、「学生の興味・関心を引き」、「勉強していただく」ことが求められるようになった。子どもたちは、「やる気が起きないのは、授業が楽しくないからだ」と言う。しかし、自己の内的な意欲までも他者からのコントロールに委ねているという点で、これはむしろ「徹底的な家畜化」ではないのだろうか。子どもたちは、厳しい教師に対して「強制だ、押しつけだ」とクレームをつける。しかし、娯楽・サービス産業の圧倒的支配による、もっと深刻なレベルでの「強制」「押し付け」が自らを蝕んでいることには気づくことはない(実は、そうした事実気づいた

めの洞察力を与えてくれるのも「学習」なのだ)。

そもそも、学習というのは基本的に楽しくないものである。学びは娯楽とは違うのである。しかし、たとえ楽しくなくても、世の中には知らなくてはならないこと、考えなくてはならないことが数多く存在する。もちろん、「学ぶ喜び」は疑いなく存在する。しかし、それはある程度の修練を積んだ者だけに訪れるかもしれない僥倖に過ぎない。「楽しみ」それ自体は学ぶ目的ではない。学びとは——「労働」がそうであるように——他者や社会全体に貢献するために為されるといふ側面も有する。高められた教養・スキルは、閉じられた「仲間」から自らを解き放ち、より広い世界へと結びつけていってくれるのである。「学び」が蔵する公共性の軽視は、現在の青少年における主流の労働観——すなわち、理想的な仕事とは、自分の「やりたいこと」「夢」を実現することだという、美しく響くが、その実、自己中心的で欲望主体の労働観——にそのまま地続きとなっているように思われる。

さらに言えば、学んでいく営みそれ自体に、社会性の育成機能が埋め込まれている。すなわち、学ぶとは、自分の好みや価値観をとりあえず脇に置いて、さまざまな事実や多様な見解を理解していく営みであり、その意味で、自己中心的な視点を矯正していく機能を有しているのである。にもかかわらず、自分の好みや価値観に合致しないからといって最初から学ぶことを放棄し、それを正当化——「個性」や「自分らしさ」等といったマジックワードによって——し続けられれば、いつまで経っても学力も社会性も身につかず、「自分という檻」に閉じ込められたままだろう。

青少年の人間関係における近年の傾向のひとつとして、いわゆる「キャラ化」——すなわち、仲間内で各々が固定的な「キャラ」を演じることによって、人間関係の安定化をはかる——が指摘されている(土井, 2009)。そこに見受けられるのは、「今の自分から変わりたくない/変われない」「他のメンバーも変わらせない」というある種の「頑なさ」である。しかし、学びとは、本来は、自らを変貌させていくこと、「自分という檻」から脱出することを志向

するものである。「キャラ化」もまた、青少年たちの成長を阻害する一因となっていることが懸念される。

#### 4 むすびにかえて ——反時代的考察

本稿のようなケータイおよびそのヘビーユーザー層である青少年のライフスタイル——殊に彼らの道徳性——に対する批判的な考察には、各方面からの少なからぬ反発が予想される。それゆえ、そうした反発に対して、最後にひとこと言及しておくことにする。

まずは、本稿における主な考察対象である青少年たちからの反発に対して——反発するのはもちろん結構だが、まずは「自分とは異なる見方をする人間の考え」にも耳を傾け、熟考したうえで「反論」をしても遅くはないのではないか。本論でも触れてきたように、「自分のことを批判する者、意見する者はすべて悪」と見なし、すぐさま耳を塞ぎ、心を閉ざしてしまうという排他的な構え自体が、ネットへの没入を含む現代の若者文化によって育まれたものだとしたらどうか？ そして、そうした構えが、周囲はもちろん、なにより自分自身のためになっていないとしたらどうか？ 感情的な好悪はとりあえず脇に置いて、いま自分が置かれている状況を冷静に分析してみることから始めてみてはどうだろうか。

また、現代の日本社会にあっては、子ども・若者たちへの共感に溢れた「やさしい大人」「理解ある大人」たちからも反発を受けることだろう——何より、ケータイ世代自身がすでに保護者になりはじめている。しかし、その「やさしさ」は、「子ども・若者たちから嫌われたくないから同調しておく」という単なる自己保身から来ているものではないのか？ そのことを常に厳しく自己検証していく必要があるように思う。他人に対して同調的・迎合的であることが時代の「空気」になっているが、そうした時代の風潮に流されているだけで、結果的には社会における「大人の役割」を放棄し、子どもの成長を阻害しているだけではないかと——。

さらに言えば、拝金主義的な現代社会に

において、ビジネス上の勝者であるケータイ業界——ひいては「成長戦略」を唱え続ける国家——からの見えない圧力に屈し、ケータイに依存させられ、「餌付け」されているに過ぎないのではないかと自問していくことも必要だろう。すなわち、私たち大人は、単に子どもたちに迎合するのみならず、その背後にある、経済至上主義・技術至上主義的な社会に煽られ、子どもたちもろとも、この社会を稼働していくためのコマとして動員させられているだけではないのかと。

——かつてソクラテスは、人々の神経を逆撫でするような哲学的活動を行う自らを「虻」になぞらえた。本稿は、単にひとりの大人としてだけでなく、「虻」である哲学者として、現代日本社会における「魂への配慮」について論じたものである。

#### 参考文献

- [1] 阿部真大(2013)『地方にこもる若者たち』朝日新書。
- [2] 浅羽通明(2001)『「携帯電話的人間」とは何か』宝島社。
- [3] Cain, Susan.(2012) *Quiet: The Power of Introverts in a World That Can't Stop Talking*, Penguin Books (『内向型人間の時代』古草秀子訳、講談社、2013年)
- [4] デジタルアーツ株式会社(2015)「未成年の携帯電話・スマートフォン利用実態調査」  
<http://www.daj.jp/company/release/common/data/2015/020901.pdf> (2015年8月15日)
- [5] 土井隆義(2008)『友だち地獄』ちくま新書。
- [6] 土井隆義(2009)『キャラ化する/される子どもたち』岩波書店。
- [7] 土井隆義(2014)『つながりを煽られる子どもたち』岩波書店。
- [8] 遠藤美季・墨岡孝(2014)『ネット依存から子どもを救え』光文社。
- [9] 原田曜平(2010)『近頃の若者はなぜダメなのか』光文社新書。
- [10] 樋口進(2013)『ネット依存症』PHP新書。
- [11] 河村茂雄(2007)『データが語る① 学校の課題』図書文化社。
- [12] 国立教育政策研究所(2014)「平成26年度 全国学力・学習状況調査 報告書・調査結果資料」
- [13] 宮台真司(1994)『制服少女たちの選択』講談社。
- [14] 宮台真司(1997)『世紀末の作法』メディアファクトリー。
- [15] 宮本幸子(2009)「子どもをとりまく人間関係」『第2回子ども生活実態基本調査報告書』ベネッセ教育総合研究所、pp. 33-47。
- [16] 内閣府(2009)「第八回世界青年意識調査」。
- [17] 内閣府(2010)「国民生活選好度調査」。
- [18] 内閣府(2015)『平成27年版 子ども・若者白書』。
- [19] 仲島一朗・姫野桂一・吉井博明(1999)「携帯電話の普及とその社会的意味」『情報通信学会誌』16(3)、pp. 79-92。
- [20] NTTアド(2000)『ネット&ケータイ人類白書』NTT出版。
- [21] 大井田隆(研究代表者)(2013)「H24年度 喫煙飲酒全国調査結果」。
- [22] 大澤真幸(1999)「電子メディアの共同体」『メディア空間の変容と多文化社会』青弓社。
- [23] 岡田尊司(2014)『インターネット・ゲーム依存症』文春新書。
- [24] 齋藤孝(2008)『あなたの隣のくモンスター』NHK出版。
- [25] 下田博次(2010)『子どものケータイ——危険な解放区』集英社新書。
- [26] 総務省(2014)『平成26年版 情報通信白書』。
- [27] 竹野真帆(2015)『オンラインゲームは若年層に悪影響をあたえるのか』夏目書房新社。
- [28] 竹内和雄(2014)『スマホチルドレン対応マニュアル』中公新書ラクレ。
- [29] 竹内整一(2009)『「かなしみ」の哲学』NHK出版。
- [30] 富田英典・藤村正之(1999)『みんなぼっちの世界』恒星社厚生閣。
- [31] 全国大学生協連(2014)「学生生活実態調査」。

## 〈論 文〉

## 高校数学の論理教材の体系と導出原理に基づく証明技法について

林 雄 一 郎

On the System of the Logic Teaching Materials in the High School Math  
and the Proof Techniques Based on Resolution Principle

Yuuichirou HAYASHI\*

## 要 旨

高校数学で扱われている数理論理学に関連する内容は、「数学Ⅰ」の「数と式」で集合と命題に関する基本概念、「数学A」の「図形の性質」での三角形や円に成り立つ性質の証明、さらに「数学Ⅱ」では「いろいろな式」の「式と証明」で等式や不等式の証明、また「数学B」では「漸化式と数学的帰納法」で漸化式や数学的帰納法を学ぶ基本的概念である。本稿においては、数理論理学の立場からこれらの内容を吟味し、指導の工夫や着想を支える教材研究の背景的知見を整理するとともに、数理論理学の知識、導出原理に基づく自動証明技法や PROLOG の活用例を考察する。これらの考え方や技法は人工知能の基礎分野でもあり、学生の興味・関心を引きつける教材づくりの基礎となるにちがいない。

## Abstract

The contents in conjunction with mathematical logic contained in high school mathematics are fundamental concepts to learn set and proposition in the unit of “numbers and expression” of “Math I”, proof of properties on triangle and circle in the unit of “properties of figures” of “MathA”, and proof of equations and inequalities in the unit of “expression and proof” of “Math II”, recursion formulas and mathematical induction in the unit of “recursion formula and mathematical induction” of “MathB”. In this paper, the author reviews these contents from viewpoint of the mathematical logic and arranges the knowledge to become the background of the study of teaching materials that support devices and ideas for instruction, and studies the knowledge of mathematical logic and paradigms of automatic proof techniques based on Resolution Principle and PROLOG. These ideas and techniques are basic field of artificial intelligence, therefore these must be the base to make teaching materials which attract interest of students.

## キーワード

論理、論証、証明、命題論理、述語論理、論理体系、形式的証明、Herbrand の定理、モデル、反駁、定理証明、導出原理、論理プログラミング、PROLOG、人工知能

---

\*北海道情報大学情報メディア学部情報メディア学科特任教授 Specially appointed Professor,  
Department of Information Media, Faculty of Information Media

## 1 はじめに

高校数学で扱われている数理論理学に関連する教材内容（以下、“論理教材”という）は次の通りである。

「数学Ⅰ」の「数と式」では、集合と命題に関する基本概念を理解し、それを事象の考察に活用するとしている。

「数学A」の「図形の性質」では、三角形や円に成り立つ性質に関する定理の証明が含まれ、「数学Ⅱ」の「式と証明」でも、記号操作で行う等式・不等式の証明が扱われる。また、「数学B」の「漸化式と数学的帰納法」では、有限の立場から帰納的方法で無限の対象となる数列を定義し、証明する。いずれも証明を構成する論理や証明の形式・方法に対する認識を深めさせ、もって論理的思考力を培うものである。

ところで、授業の成否は扱う教材に対する教師の教材観に大きく依拠している。論理教材の教材観には、数理論理学やこれに関連する数理科学の素養が必要となる。

本稿においては、数理論理学に関連する教材研究の基礎となる知識体系や情報科学においてすでに確立された理論・技術となっている導出原理に基く定理証明に関連する知識を整理するとともに、それに基づく論理プログラミング言語 PROLOG の活用例を考察している。

## 2 論理教材の内容

高校数学の教科書（高橋他、2011）から論理教材を挙げ考察する。

### 2-1 「数学Ⅰ」

集合と命題に関する基本的な概念を理解し、それを事象の考察に活用する力量を養

うとしている。

#### 2-1-1 集合

ここでは集合と要素、有限・無限集合、部分集合、集合の相等、共通部分・和集合、空集合・補集合、集合に関する De Morgan の法則を扱う。集合の概念は、数学を構成するのに使われ、論理とは密接不可分な関係がある。集合を定義するには条件(述語論理式)が使われ、それは集合の性質を規定する。例えば、 $A = \{x \mid x \text{ は } 5 \text{ 以下の自然数}\}$  は “ $x$  は 5 以下の自然数である” という条件を満たす集合  $\{1, 2, 3, 4, 5\}$  を表示する。これは Cantor の素朴集合論を公理化した Frege の次の抽出公理に依拠する。

$$\exists A \forall x (x \in A \leftrightarrow F(x)).$$

記号  $\leftrightarrow$  は同値の表示(4-2で定義、6-1で意味の定義)である。この公理は、集合  $A = \{x \mid F(x)\}$  の存在を保証するが、集合  $M = \{x \mid x \notin x\}$  は次の矛盾を含む (Russell の逆理)。

$$M \in M \leftrightarrow M \in \{x \mid x \notin x\} \leftrightarrow M \notin M.$$

そこで、Zermelo は抽出公理の代りに次の分離(分出)公理を考案した。

$$\forall M \exists A \forall x (x \in A \leftrightarrow x \in M \wedge F(x)).$$

すなわち、扱う集合を任意の集合( $M$ )の部分集合に限定するという着想である。

例えば、 $M = \{\{0\}, \{1\}\}$ 、 $F(x) : x \notin x$  に

分離公理を適用すると、Russell の逆理の式パターンは  $M \in M \leftrightarrow M \in M \wedge M \notin M$  となる。両辺とも偽であり全体として真と

なるから逆理は回避される(井関,1973)。こうすると、扱う集合は狭くなるが、安心して集合を使ってよいことになる。

また、集合の De Morgan の定理は命題論理との関連が重要である。 $p, q$  を命題とするとき

$$\neg(p \wedge q) \leftrightarrow (\neg p) \vee (\neg q)$$

$$\neg(p \vee q) \leftrightarrow (\neg p) \wedge (\neg q)$$

$$(p \Rightarrow q) \leftrightarrow \neg p \vee q$$

が成り立つ。命題の論理的等価については4・2で考察する。

### 2・1・2 命題と集合

ここでは、方程式・不等式の解集合、命題の真と偽、条件、仮定・結論、 $p \Rightarrow q$ 、反例、必要条件、十分条件、 $p \Leftrightarrow q$ 、必要十分条件、同値、「 $p$ かつ $q$ 」、「 $p$ または $q$ 」、「 $p$ でない」などの用語、論理に関する De Morgan の法則を扱う。

高校数学では述語 (predicate) という用語の代わりに「条件」を使う。述語を性質または条件ということがある(前原, 1966)し、必要条件・十分条件という用語と整合性がある。ただ、数理論理学では条件より述語が一般的な用語なので、以下述語を用いる。解集合は等号・不等号で表された述語を真にする集合であり、方程式や不等式の解や図形と方程式・不等式の考察に有効である。

このため、論理記号「 $\wedge$ かつ」、「 $\vee$ または」、「 $\neg$ 否定」、「 $\Rightarrow$ ならば」、「 $\Leftrightarrow$ 同値」のそれぞれと集合概念の共通部分、和集合、補集合との対応関係の理解が重要である。また、

$$P = \{x | p(x)\}, Q = \{x | q(x)\} \text{ のとき、}$$

$$p(x) \Rightarrow q(x) \text{ と } P \subset Q \text{ との対応関係、}$$

$$p(x) \Leftrightarrow q(x) \text{ と } P = Q \text{ との対応関係}$$

の理解も重要である。これらについては、4、5で体系的に考察する。

### 2・1・3 逆・裏・対偶

逆・裏・対偶、背理法について学ぶ。

逆・裏・対偶では命題の真偽値がどうなるかが重要である。命題の真偽値は真T、偽Fの値割り付け (valuation) 表 (真理値表) による。2つの命題の同値関係は真偽値の一致・不一致を調べる。これは命題の解釈の問題で4・2で考察する。述語の場合

$$\text{の解釈は難度が高くなる。 } p(x) \Rightarrow q(x)$$

の真偽は2・1・2で述べた集合の包含関係の解釈で証明し、8・2の例8で考察する。

### 2-2 「数学A」

「図形の性質」の平面図形では、三角形や円に関する基本的な性質について、それらが成り立つことを証明できるようにする。

#### 2・2・1 三角形の性質

直線と角、三角形の辺と角の大小、重心・内心・外心、Menelaos・Cevaの定理、Euler線などを扱う。

#### 2・2・2 円の性質

円周角の定理の逆、外接・内接四角形、接弦角、方べきの定理、2円の位置関係を扱う。図形の性質の演繹的構成は、Euclidの幾何学原論の方法論を踏襲するものである。その手段として証明という操作が使われていることへの理解が主眼となる。

図形の証明は、公理 $\Gamma$  (または先行する定理) を基に、前提Cから三段論法という推論規則を用いて、幾何学的直観に導

かれつつ正しい命題  $A_i$  を積み上げてゆき結論  $D$  を得るものである。記号で書けば  $\Gamma, C, A_1, A_2, \dots, D$  あるいは  $\Gamma, C \vdash D$  となる。

もし、図形の性質を公理として記号化し、定理も記号化すれば、その証明は記号の世界だけの形式的演繹操作に帰するであろう。形式的証明については 5 で考察し、幾何の問題の導出原理に基づく証明例を 8-2 の例 15、9 の例 16 で与える。

### 2-3 「数学II」

「いろいろな式」の「式と証明」で等式や不等式が成り立つことを証明できるようにする。

#### 2-3-1 式と証明

ここでは、恒等式、係数比較法・数値代入法について学ぶ。係数比較法は恒等式を文字列と見做して対比する記号処理である。数値代入法は、変数に数値を代入して係数を求めるから記号列への値割り付け(assignment)として式を意味の世界に変換し解釈して解く方法である。一方、記号による代入(substitution)や置き換え(replacement)は、記号の世界から記号の世界に変換する操作である。

#### 2-3-2 等式の証明

ここでは、等式、条件付きの等式の証明、比の値、比例式、連比を扱う。文字式の証明は記号操作で式の同値変形を行うもので純粋に記号の世界の中での処理である。例えば、記号処理ソフト **mathematica** を使って機械的に証明が出来る。

#### 2-3-3 不等式の証明

ここでは、大小の判定、実数  $a$  は  $a^2 \geq 0$ 、相加・相乗平均、平方の大小、絶対値を含

む不等式を学ぶ。不等式の証明も記号操作の世界で出来る。

### 2-4 「数学B」

「漸化式と数学的帰納法」で数列の漸化式による表現や数学的帰納法を扱う。漸化式と数列では、漸化式で表された数列の一般項を求める。また、数学的帰納法では、これを理解し、それを用いて簡単な命題を証明するとともに、事象の考察に活用する。

#### 2-4-1 漸化式

ここでは、 $a_1 = a$ 、 $a_{n+1} = a_n + d$ 、 $a_{n+1} = ra_n$ 、 $a_{n+1} = pa_n + q$  などの漸化式を扱う。最後の式を以下で考察する。 $n'$  は  $n+1$  ( $n$  の successor)、 $\chi$  は漸化式から決まる数論的関数(変域、値域が自然数)とし、 $a_k = \varphi(k)$  とおく。数列  $\{a_n\}$  は

$$a_{k+1} = \varphi(k') \equiv \chi(k, \varphi(k)) = p\varphi(k) + q$$

と原始帰納法(3で定義する)で定義できる。

$$a_0 = \varphi(0) = a.$$

$$a_1 = \varphi(1) = \chi(0, \varphi(0))$$

$$= p\varphi(0) + q = ap + q.$$

$$a_2 = \varphi(2) = \chi(1, \varphi(1))$$

$$= p\varphi(1) + q = ap^2 + pq + q.$$

.....

よって、この数列を表す数論的関数  $\chi$  は原始帰納的関数のクラスに属する。

原始帰納的関数は一般帰納的関数である。また、一般帰納的関数は Turing 計算可能であり、この逆も成り立つ。これが数列の漸化式をプログラムで記述し、計算できる根拠である。これについては、3で考察する。

2-4-2 数学的帰納法

ここでは、等式の証明、不等式の証明、整数の性質の証明を扱う。論理的推論には、普遍的な命題から特殊な命題を導く演繹とその逆を行う帰納がある。数学的帰納法は演繹法の一つであり、自然数  $n$  についての陳述  $P(n)$  を述語とみなして証明する方法である。数学的帰納法は次のように述べられる。

- (1)  $P(0)$  が成り立つ
- (2)  $P(n) \Rightarrow P(n')$  が成り立つ

このとき全ての  $n$  に対して  $P(n)$  が成り立つ。(1) は base of induction、(2) は induction step という。これは自然数の帰納的定義に依拠した証明方法である。

ちなみに、自然数の帰納的定義は

- (1)  $0$  は自然数
- (2)  $n$  が自然数ならば、 $n'$  は自然数
- (3) (1)(2) で与えられたもののみが自然数である

からなる。

Peano の自然数の公理系 (Kleene, 1967) の第 5 番目にはこの数学的帰納法の原理が挙げられている。

以上、数理論理学に関連した教材内容を概観してきた。「ギリシャ以来、数学とはすなわち証明である」(N. Bourbaki, 1968) という有名な言葉があるが、その証明を支えている論理は、数学の屋台骨を成している。

3 漸化式と帰納的関数

2 で述べた漸化式で定義される数論的関

数は数列  $a_k (k=0,1,\dots)$  を  $k$  についての関数とみなすとき、原始帰納的関数である。一般的にこの関数  $\varphi$  のクラスは次のように述べられる (Kleene, 1967)。

$\chi, \psi$  を数論的関数とするとき、

- (1) successor 関数  $\varphi(x) = x'$ .
- (2) 定数関数  $\varphi(x_1, \dots, x_n) = q$ .
- (3) identity 関数  $\varphi(x_1, \dots, x_n) = x_i$ .
- (4) 合成関数

$$\begin{aligned} &\varphi(x_1, \dots, x_n) \\ &= \psi(\chi_1(x_1, \dots, x_n), \dots, \chi_m(x_1, \dots, x_n)). \end{aligned}$$

(5a) 1 変数の原始帰納法

$$\varphi(0) = q, \varphi(y') = \chi(y, \varphi(y)).$$

(5b) 一般の原始帰納法

$$\begin{aligned} &\varphi(0, x_2, \dots, x_n) = \psi(x_2, \dots, x_n). \\ &\varphi(y', x_2, \dots, x_n) \\ &= \chi(y, \varphi(y, x_2, \dots, x_n), x_2, \dots, x_n). \end{aligned}$$

(1) ~ (5b) を用いて作られる関数を原始帰納的 (primitive recursive) 関数という。

(5) で作られる関数はただ一つ存在する。

例 1 次の漸化式を考える。

$$a_1 = 3, a_{n+1} = 3a_n + 2^n.$$

$$\varphi(1) = 3, \chi(n, \varphi(n)) = 3\varphi(n) + 2^n \text{ とおけば}$$

(5a) の形になり原始帰納的となる。

階乗  $n!$  も次のように原始帰納的となる。

$$\varphi(0)=1.$$

$$\varphi(n') = \chi(n, \varphi(n)) = (n+1)\varphi(n).$$

関数  $a+b, a \cdot b, a^b, a!, |a-b|, \dots$  も原始帰納的である。

また、集合  $S$  の特徴関数  $C_S$  を

$$C_S(x) = 0(x \in S), 1(x \notin S) \text{ と定義すると}$$

これが原始帰納的であれば  $S$  は帰納的集合であること、また述語  $p$  はその真理集合

$\{x \mid p(x)\}$  が原始帰納的ならば原始帰納的

述語であることが定義できる。こうして、原始帰納的関数の概念を関数から集合や述語へ拡張していく。さらに、原始帰納的関数に  $\mu$  作用素(等式を満たす最小の  $y$  の値が関数値)を施して作られる関数  $h$  を定義できる。

$$h(y, x_1, \dots, x_n) = \mu y (f(y, x_1, \dots, x_n) = 0).$$

これらの関数のクラスを一般帰納的関数 (general recursive) という。原始帰納的関数は一般帰納的関数である。この逆は成り立たない(反例; Ackermann 関数)から一般帰納的関数のクラスの方が大きくなる。

なお、一般帰納的関数のクラスは Turing 計算可能な関数のクラスと一致することが分かっている (Davis, 1958)。

#### 4 命題論理と述語論理

命題と述語の論理体系を考察する。

##### 4-1 自由変数と束縛変数

“変数とは・・・” という数学の定義はない (井関, 1973)。“独立変数” などとその冠が与えられて定義されているに過ぎない。数学で扱う数式には“変数”が用いられ、例えば、

教科書では次のような式の変数記号が出てくる。

$$2x^2 - x - 1 = 0, \log_2 x \leq -1. \quad \dots \textcircled{1}$$

$$(x+y)^2 = x^2 + 2xy + y^2. \quad \dots \textcircled{2}$$

$$\sin(x+y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y. \quad \dots \textcircled{3}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1. \quad \dots \textcircled{4}$$

$$\int_0^t x dx = \frac{1}{3} t^3. \quad \dots \textcircled{5}$$

$$x = a(t - \sin t), y = a(1 - \cos t). \quad \dots \textcircled{6}$$

①は方程式、不等式であり  $x$  は特定の値(範囲)を満たす未知数を表す変数である。②、③は恒等式で、 $x, y$  は任意の数を表す変数である。④の初めの式の  $x$  は  $0$  に収束する変数を表す。2番目の式の  $x$  は任意の値を表す変数である。⑤の  $t$  は積分変数と称され積分操作を表す変数である。⑥の  $t$  はパラメータと称され、解析幾何特有の任意の値を表す変数である。

④、⑤の  $x$  は式が表す意味にかかわる変数である。一方、他の式の変数は量や命題の真偽にかかわる。数理論理学においては、前者を束縛変数、後者を自由変数とタイプ分けしている。形式的には、論理式で表すとき全称作用素  $\forall x$ 、存在作用素  $\exists x$  の有効範囲(scope)内の変数  $x$  を束縛変数といい、それ以外は自由変数という。

未知数として出てくる①の変数は、それにある定数の代入で、=の意味(真・偽)が決まるので自由変数である。④の  $x$ 、⑤の  $t$  は勝手な値の代入で無意味になるから束縛変数である。ところが難しいのは②、③である。

恒等式は勝手な値割り付けで常に成り立つので自由変数だが、この式を

$$\forall x \forall y ((x+y)^2 = x^2 + 2xy + y^2).$$

と論理式で表すと  $x, y$  は束縛変数になる。形式化されていない数学で扱う文字  $x$  がどういいうタイプの変数であるかはその式の表現で判断する必要がある。

#### 4・2 命題論理

命題論理は命題の内容に立ち入らずにその真偽(真理値)のみを問題にする。命題論理の論理式を定義する。

- (1) 命題定数  $T, F$ 、命題変数は論理式である(原子命題)
- (2)  $\phi, \psi$  が論理式ならば、  
 $\neg\phi$ 、 $\phi \wedge \psi$ 、 $\phi \vee \psi$ 、 $\phi \supset \psi$ 、 $\phi \leftrightarrow \psi$  は論理式である
- (3) (1),(2)で出来たもののみが論理式である

命題論理式は、命題変数  $X_1, \dots, X_n$  が論理記号の  $\neg$ (否定)、 $\wedge$ (連言)、 $\vee$ (選言)、 $\supset$ (含意)、 $\leftrightarrow$ (同値)を用いて構成される。

このように生成された論理式はその形が異なっても同じ真理値をとるものは特に論理的に同値といい、 $\phi \equiv \psi$  と記す。この同値変形には以下の関係が用いられる。

可換律  $\phi \wedge \psi \equiv \psi \wedge \phi, \phi \vee \psi \equiv \psi \vee \phi.$

結合律  $(\phi \wedge \psi) \wedge \chi \equiv \phi \wedge (\psi \wedge \chi).$   
 $(\phi \vee \psi) \vee \chi \equiv \phi \vee (\psi \vee \chi).$

分配律  $(\phi \wedge \psi) \vee \chi \equiv (\phi \vee \chi) \wedge (\psi \vee \chi).$   
 $(\phi \vee \psi) \wedge \chi \equiv (\phi \wedge \chi) \vee (\psi \wedge \chi).$

吸収律

$$\phi \wedge (\phi \vee \psi) \equiv \phi. \quad \phi \vee (\phi \wedge \psi) \equiv \phi.$$

$\supset$  の別表現  $\phi \supset \psi \equiv \neg\phi \vee \psi.$

$\leftrightarrow$  の別表現  $(\phi \supset \psi) \wedge (\psi \supset \phi).$

二重否定の除去  $\neg\neg\phi \equiv \phi.$

De Morgan の法則

$$\neg(\phi \vee \psi) \equiv \neg\phi \wedge \neg\psi.$$

$$\neg(\phi \wedge \psi) \equiv \neg\phi \vee \neg\psi.$$

対偶の法則  $\phi \supset \psi \equiv \neg\psi \supset \neg\phi.$

6・1で、これらが命題変数への真理値割り当てによる解釈で成り立つことが分かる。

$f(x_1, \dots, x_n) : \{0, 1\}^n \rightarrow \{0, 1\}$  を Boole 関

数と呼ばば、論理式は Boole 関数と考えられる。任意の Boole 関数は標準形に同値変形に変換できる。すなわち、 $\wedge, \vee, \neg$  の組み合わせのみで表現できることが分かっている。これは論理回路の設計に応用される。

なお、最小限の論理素子を使うためには次の  $NAND, NOR$  素子を用いる。

$\neg(x \wedge y)$  が  $NAND$ 、 $\neg(x \vee y)$  が  $NOR$

すべての論理式はこのいずれかで表現できる。その根拠は

$$\neg x \equiv \neg(x \wedge x) \equiv \neg(x \vee x); NAND, NOR$$

$$x \wedge y \equiv \neg(\neg x \vee \neg y); NOR$$

$$\equiv \neg(\neg(\neg(x \vee x) \vee \neg(y \vee y))); NOR$$

$$x \vee y \equiv \neg(\neg(x \wedge x) \wedge \neg(y \wedge y)); NAND$$

が成り立つからである。

#### 4-3 述語論理

述語論理は変数を含み内容に様々な対象を表す記号が入る。そこで、まず使う“記号”の定義から始める。

- ・ 特定の対象を表す定数記号  
個体定数といい対象に依拠する

例2  $0, 1, 2, \dots$ , keiko, hide, yuito

- ・ 自由変数 ;  $a, b, c, \dots$
- ・ 束縛変数 ;  $x, y, z, \dots$
- ・ 関数記号 ;  $f, g, f_1^1, f_2^1, \dots, f_m^n, \dots$

例3  $f_1^2; plus, f_2^2; times$

- ・ 述語記号 ;  $p, p_1^1, p_2^1, \dots, p_m^n$   
考察対象に依拠する

例4  $p_1^2; *_{1} = *_{2}$ ,  $p_2^2; *_{1} < *_{2}$ ,  $\dots$

- ・ 論理記号 ;  $\neg, \wedge, \vee, \supset, \forall, \exists$

次に、項(term)を定義する。

- (1) 特定の対象を表す記号(定数)、変数は項である
- (2)  $f^n(*_1, *_2, \dots, *_n)$  は  $n$  変数の関数とし、  
 $t_1, \dots, t_n$  が項ならば、 $f^n(t_1, \dots, t_n)$  は項である
- (3)(1),(2)で定義されたもののみが項である

項の集合  $T$  を対象領域という。ある集合の内包的定義  $M = \{a | A(a)\}$  において、

$A(a)$  は自由変数  $a$  を含む文である。

次に、このような文を表現する“論理式(formula)”を定義する。

- (1)  $p^n(*_1, \dots, *_n)$  は  $n$  変数の述語、 $t_1, \dots, t_n$

が項ならば、 $p^n(t_1, \dots, t_n)$  は論理式(素論理式)である

- (2)  $\alpha, \beta$  が論理式の時、  
 $\neg\alpha, \alpha \wedge \beta, \alpha \vee \beta, \alpha \supset \beta$  はすべて論理式である

- (3) 論理式  $\alpha(a)$  において、自由変数  $a$  をこの論理式に含まれない変数  $x$  で置き換えたものの前に  $\forall x, \exists x$  を付けてできる  
 $\forall x\alpha(x), \exists x\alpha(x)$  は論理式である

- (4)(1),(2),(3)で構成されたもののみが論理式である

(1)~(3)で生成される論理式を整合論理式(well formed formula)という。

命題論理で考察したように述語論理でも同値変形が考えられる。2つの論理式  $\varphi, \psi$  が論理的に同値であるとは、すべての解釈、すべての変数割り当てで同じ真理値を持つ場合とし、 $\varphi \equiv \psi$  と記す。命題論理で成り立つものはそのまま成り立ち、これに以下のものを加える。

$\varphi$  が  $y$  を自由変数として含まないとき

$$\forall x\varphi(x) \equiv \forall y\varphi(y), \exists x\varphi(x) \equiv \exists y\varphi(y).$$

$$\neg\forall x\varphi \equiv \exists x\neg\varphi, \neg\exists x\varphi \equiv \forall x\neg\varphi.$$

$$(\forall x\varphi) \wedge (\forall x\psi) \equiv \forall x(\varphi \wedge \psi).$$

$$(\exists x\varphi) \vee (\exists x\psi) \equiv \exists x(\varphi \vee \psi).$$

$\varphi$  が  $x$  を自由変数として含まないとき

$$\varphi \wedge (\forall x\psi) \equiv \forall x(\varphi \wedge \psi).$$

$$\varphi \wedge (\exists x\psi) \equiv \exists x(\varphi \wedge \psi).$$

$$\varphi \vee (\forall x\psi) \equiv \forall x(\varphi \vee \psi).$$

$$\varphi \vee (\exists x\psi) \equiv \exists x(\varphi \vee \psi).$$

以上の式変形を用いれば任意の論理式は冠頭(前置)標準形(prenex normal form)に変形できる。その形は  $Q_1x_1 \cdots Q_mx_m\varphi$  である。

$Q_i$  は量化子  $\forall, \exists$  のいずれかである。命題論理で述べたように  $\varphi$  は  $\wedge, \vee, \neg$  を用いて表せるが、さらに連言標準形(CNF)または選言標準形に同値変形できることが分かっている。

また、 $Q_i$  のうち  $\exists$  記号を除去するため、定数記号(Skolem 定数)と関数記号(Skolem 関数)を導入すれば Skolem 標準形とよばれる形に変形できる。結果として任意の論理式は次の形に変形されることが分かる。

$$\forall x_1 \cdots \forall x_m (C_1 \wedge \cdots \wedge C_n).$$

$C_i$  は節 (clause) といい、素論理式の選言

$$C_i = l_{i1} \vee \cdots \vee l_{im}$$

である。 $l_{ij}$  は  $p$  または  $\neg p$  でリテラル(literal)という。この2つは相補対(complementary pair)という。

例 5  $\exists x\forall y\forall z\exists wp(x, y, z, w).$

束縛変数  $x$  にはある定数記号  $a$  を代入、変数  $w$  には変数  $y, z$  の関数  $f(y, z)$  を代入すれば、 $\forall y\forall zp(a, y, z, f(y, z))$  となる。

7, 8 においては、述語論理式を考察する

際、これを Skolem 標準形に同値変形しこの節集合  $\{C_1, C_2, \cdots, C_n\}$  を対象にする。

## 5 形式的体系と証明可能性

4 で定義した論理式を考察するに当たっては、構文論 (syntax) の立場と意味論 (semantics) の立場がある。構文論では、公理と推論規則を定めた形式的体系 (formal system) の中で、記号操作のみで演繹的に論理式が証明可能 (provable) か否かを考察する。他方、意味論では論理式に対する解釈を基に、それが恒真 (tautology) であるか否かを調べる。

ある論理式が証明可能ならば恒真であることを健全性といい、この逆が成り立つことを完全性という。命題計算では、ある論理式が証明可能であることと恒真であることとは同値となる。また、述語計算でも、証明可能な論理式はあらゆる解釈において真 (妥当 validity) なることがいえ、この逆も成り立つ。これが成り立つことを保証するのが完全性定理 (Gödel, 1930) である。結局、構文論でも意味論でもどちらで考察を進めても構わないことになる。以下、形式的体系と証明可能性について考察する。

### 5.1 Hilbert の体系

形式的な論理体系には次のような Hilbert の体系  $H$  (Kleene, 1967) がある。

$$H1a \quad A \supset (B \supset A) \quad H2 \quad \frac{A \quad A \supset B}{B}$$

$$H1b \quad (A \supset B) \supset (A \supset (B \supset C)) \supset (A \supset C)$$

$$H3 \quad A \supset (B \supset A \wedge B)$$

H4a  $A \wedge B \supset A$  H4b  $A \wedge B \supset B$

H5a  $A \supset A \vee B$  H5b  $B \supset A \vee B$

H6  $(A \supset C) \supset ((B \supset C) \supset (A \vee B \supset C))$

H7  $(A \supset B) \supset ((A \supset \neg B) \supset \neg A)$

H8  $\neg\neg A \supset A$ . H9  $\frac{C \supset A(x)}{C \supset \forall x A(x)}$

H10  $\forall x A(x) \supset A(t)$  H11  $A(t) \supset \exists x A(x)$

H12  $\frac{A(x) \supset C}{\exists x A(x) \supset C}$

(H9,H12 で  $C$  は自由変数  $x$  を含まず、

H10,H11 の  $t$  は  $A(x)$  の  $x$  で自由変数)

命題論理の公理系 H1~H8 に H9~H12 を加えて述語論理の公理系とする。H2 は推論規則 Modus Ponens(MP、三段論法)という。

なお、H1~H12 を縮減した公理と推論規則として次の Lukasiewicz の公理系がある。この公理系を  $\Gamma$  とおく。

A1  $A \supset (B \supset A)$

A2  $(A \supset (B \supset C)) \supset ((A \supset B) \supset (A \supset C))$

A3  $(\neg B \supset \neg A) \supset (A \supset B)$

A4  $\forall x A(x) \supset A(t)$   $t$  は任意の項

A5  $\forall x (A \supset B(x)) \supset (A \supset \forall x B(x))$

$A$  は  $x$  を自由変数として含まない

A6 MP (modus ponens)  $\frac{A \quad A \supset B}{B}$

A7 一般化  $\frac{A(x)}{\forall x A(x)}$

ただし、 $x$  は  $A(x)$  を導く推論の前提に含まれない自由変数とする。

形式的体系の証明を以下の例でみる。

例 6

$$G = \left\{ \begin{array}{l} \text{man}(\text{Fermat}) \\ \forall x (\text{man}(x) \supset \text{fallible}(x)) \end{array} \right\}.$$

このとき  $\Gamma, G \vdash \text{fallible}(\text{Fermat})$  の証明

は以下の 1. ~ 4. となる。

1.  $\forall x (\text{man}(x) \supset \text{fallible}(x))$  仮定
2.  $\text{man}(\text{Fermat}) \supset \text{fallible}(\text{Fermat})$  A4
3.  $\text{man}(\text{Fermat})$  仮定
4.  $\text{fallible}(\text{Fermat})$  2., 3., A6(MP)

1.~4. が証明の過程であり、4. は定理となる。

一般に、公理系  $H$  から導かれた論理式  $\varphi$  は定理と呼ばれ  $H \vdash \varphi$  と記す。このとき、 $\varphi$  は  $H$  から証明可能という。

## 5.2 形式的証明

以下のような演繹定理など多くの形式的な演繹によって多くの定理が導かれる。

[演繹定理]  $H, \varphi \vdash \psi$  ならば  $H \vdash \varphi \supset \psi$

$G$  が閉論理式の集合で  $\varphi$  が閉論理式とす

るとき、 $G \cup \{\neg\phi\}$  が矛盾するならば、 $G \vdash \phi$  が成り立つ。この証明は

$G' = G \cup \{\neg\phi\}$  が矛盾するから、ある論理式  $\psi$  について  $G, \neg\phi \vdash \psi$  と  $G, \neg\phi \vdash \neg\psi$  の両方が成り立つ。演繹定理により、

$$G \vdash \neg\phi \supset \neg\psi \quad \dots \textcircled{1}$$

$$G \vdash \neg\phi \supset \psi \quad \dots \textcircled{2}$$

H7 から

$$(\neg\phi \supset \neg\psi) \supset ((\neg\phi \supset \psi) \supset \phi) \quad \dots \textcircled{3}$$

MP を①と③、その結果と②に2回使うと  $G \vdash \phi$  を得る。

これは、背理法の原理である。その他にも多くの論理の定理があるが割愛する。

## 6 論理式の解釈

意味論の立場で論理式を考察する。文字の抽象性は意味付けが多義であることによる。この意味付けとは解釈に他ならない。

例えば、コンピュータ・プログラムはプログラム言語の文法に則って coding された記号列に過ぎないが、コンパイラーによってある動作を行う機械語に翻訳(解釈)されコンピュータを動かす binary program となる。コンピュータは多種類あるから一つの言語のコンパイラーもその数だけあるように解釈は無数にある。

以下、論理式の解釈について考察する。

### 6・1 命題論理式の解釈

具体的な個体領域  $D = \{T, F\}$  を考える。

$D$  の要素を真理値という。また、論理式  $p$

に含まれるすべての命題変数  $X_i (1 \leq i \leq n)$

に真理値を割り当てるとき、それを真理値割り当て(truth assignment)という。この割り当てを論理式の解釈という。命題論理式の解釈に対しては、次式を満たす写像  $I$  となる。

$G$  : 命題論理式の集合、 $G \ni \phi \rightarrow I(\phi) \in D$ .

$$(1) I(T) = T, I(F) = F.$$

$$(2) X_i \text{ は命題変数で、} t_i \text{ を真理値割り当ての値とすると} I(X_i) = t_i.$$

(3) 論理記号の解釈

$$I(\neg\phi) = \neg I(\phi), I(\phi \wedge \psi) = I(\phi) \wedge I(\psi).$$

$$I(\phi \vee \psi) = I(\phi) \vee I(\psi).$$

$$I(\phi \supset \psi) = I(\phi) \supset I(\psi).$$

$$I(\phi \leftrightarrow \psi) = I(\phi) \leftrightarrow I(\psi).$$

(1)~(3)によって、任意の命題論理式に  $D$  の要素が割り当てられる。4・2で挙げた同値変形が確かめられる。

命題論理式  $\phi$  が、真理値割り当てに対して  $I[\phi] = T$  のとき恒真式(tautology)といい、 $\models \phi$  と記す。恒真式は絶対的な真実を表す。

また、ある条件下で成り立つという場合には、限定的な真理値割り当て(解釈)  $I'$  で  $I'(\phi) = T$  となる場合であり、 $I'$  は  $\phi$  を充足する、 $I'$  は論理式  $\phi$  のモデルという。

また、 $\phi$  は充足可能(satisfiable)という。また、論理式の集合  $\Gamma$  と論理式  $\phi$  があるとき、 $\Gamma$  を充足する真理値割り当てが  $\phi$  も充足するとき  $\Gamma \models \phi$  と記す。

## 6・2 述語論理式の解釈

4・3 で定義した整合論理式への解釈を考える。 $D$  を具体的な個体領域 (解釈空間) とする。個体領域の例は自然数、実数、特定のモノの集合が考えられる。ある論理式に対する解釈  $(D, I)$  を以下のような写像  $I_\sigma$  により定義する。変数がないときは  $I$  を使う。

- (1) 個体定数  $c$  には  $I(c) \in D$  を、変数記号

には  $D$  上を動く変数を対応させる

- (2) 関数記号  $f^n$  に対しては、関数

$$I(f^n); D^n \rightarrow D \text{ を対応させる}$$

- (3) 述語記号  $p^n$  に対しては命題関数

$$I(p^n); D^n \rightarrow \{T, F\} \text{ を対応させる}$$

$\sigma$  は、述語に含まれる自由変数への一つの値割り当て (assignment) である。

このとき、(1)~(3) より次式が成り立つ。

$$I_\sigma(c) = I(c), \quad I_\sigma(x) = \sigma(x).$$

$$I_\sigma(f(t_1, \dots, t_n)) = I(f)(I_\sigma(t_1), \dots, I_\sigma(t_n)).$$

$$I(p(t_1, \dots, t_n)) = I(p)(I_\sigma(t_1), \dots, I_\sigma(t_n)).$$

$$I_\sigma(\neg \alpha) = \neg I_\sigma(\alpha).$$

$$I_\sigma(\alpha \wedge \beta) = I_\sigma(\alpha) \wedge I_\sigma(\beta).$$

$I_\sigma(\forall x \alpha)$  は  $D$  の任意の要素  $a$  に対して

$$I_{\sigma\{x:=a\}}(\alpha) = T \text{ とする。}$$

$I_\sigma(\exists x \alpha)$  は  $D$  のある要素  $a$  について

$$I_{\sigma\{x:=a\}}(\alpha) = T \text{ とする。}$$

与えられた述語論理式が自由変数を含まないとき閉論理式という。この場合の解釈は命題論理と同様に一意的に決まる。

自由変数を含む場合、自由変数への値割り当て  $\sigma$  が決まれば解釈  $(D, I_\sigma)$  が決まる。よって、述語論理式の解釈は無数にある。

解釈  $(D, I_\sigma)$  において  $I_\sigma(\alpha) = T$  のとき、

$(D, I) |_\sigma \alpha$  と記し、 $\alpha$  は妥当 (valid) という。

特に、 $\alpha$  が閉論理式のとき解釈  $(D, I)$  は  $\alpha$

を充足するという。閉論理式の集合  $G$  のすべての論理式が充足されるとき  $(D, I)$  は

$G$  を充足するといいい、 $(D, I) | = G$  と記す。

例7 個体領域  $D = \{0, 1, 2, \dots\}$

・ 個体定数 ; zero, one, two, ...

$$I(\text{zero}) = 0, I(\text{one}) = 1, \dots$$

・ 関数記号 ; add, times

$$I(\text{add}) = *_1 + *_2, \quad I(\text{times}) = *_1 \cdot *_2.$$

・ 述語記号 ; eq  $I(\text{eq}) = \text{equal}(*_1, *_2)$ .

equal は次の命題関数であり

$$\text{equal}(x, y) = \begin{cases} T(x = y) \\ F(x \neq y) \end{cases} \text{ とする。}$$

$$\begin{aligned} & I(\text{add}(\text{zero}, \text{one})) \\ &= I(\text{add})(I(\text{zero}), I(\text{one})) \\ &= I(\text{zero}) + I(\text{one}) = 0 + 1 = 1. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & I(\text{eq}(\text{one}, \text{one})) \\ &= I(\text{eq})(I(\text{one}), I(\text{one})) \\ &= \text{equal}(1, 1) = T. \end{aligned}$$

例8 2-1-2 で述べた論理式  $p(x) \Rightarrow q(x)$  を再考察する。この式は同値変形を施すと

$$\forall x(\neg p(x) \vee q(x)) \text{ となる。}$$

解釈は、個体領域  $D$  を実数の集合とし、 $D \ni \forall a$  に対して  $\sigma(x) = a$  とする。

$$\begin{aligned} P &= \{x \mid I_\sigma(p(x)) = T\} \\ Q &= \{x \mid I_\sigma(q(x)) = T\} \end{aligned}$$

とおくと  $I(p(a), a \in P) = T, I(q(a), a \in Q) = T$  である。このとき、 $P \subset Q$  が成り立つことと  $I_\sigma[\neg p(x) \vee q(x)]$  が  $\forall a \in D$  に対して恒真式となることは論理的に同値である。その証明を以下で述べる。

$$\begin{aligned} & P \subset Q \text{ を仮定する。まず次式が成り立つ。} \\ & I_\sigma(\neg p(x) \vee q(x)) = \neg I_\sigma(p(x)) \vee I_\sigma(q(x)) \\ &= \neg I(p(a)) \vee I(q(a)). \end{aligned}$$

$$a \in P \text{ ならば } a \in Q \text{ よって } I(q(a)) = T.$$

$$a \notin P \text{ ならば } \neg I(p(a)) = T \text{ となる。}$$

いずれにせよ  $I(\neg p(a) \vee q(a)) = T$  がいえる。逆も明らかである。

5 で考察した形式的体系で演繹される証明可能性と 6 で考察した解釈(モデル)に基づく充足可能性の関連はどうなるのだろうか。いま、 $G$  という閉論理式の集合とし、 $G \ni \varphi$  とする。

もし、 $G \vdash \varphi$  ならば  $G \models \varphi$  が成り立つとき健全性(soundness)が成り立ち、逆が成り立つとき完全性(completeness) が成り立つという。命題論理と述語論理においては健全性と完全性は同値であることが分かっている (Gödel の完全性定理)。

## 7 Herbrand の定理

この定理は決定問題の可解な場合を扱う基本的なツールであり、定理の自動証明の基礎になっている(Andrews,1986)。以下、定理で用いる概念構成を与える。

### 7-1 Herbrand 領域

基礎項(ground term)とは、関数に含まれる変数に個体定数を代入したものである。いま、 $G$  は閉論理式の集合、 $F$  はそれに含まれる個体定数と関数の集合とする。

$G$  の Herbrand 領域(Herbrand universe)  $H$  とは、 $G$  に含まれる関数の変数に  $F$  の要素を代入してできる基礎項の集合である。関数記号を含むときは可附番無限集合になる。

例9 閉論理式の集合を

$$G = \left\{ \begin{array}{l} \text{is}(\text{chichi}(\text{yuito}), \text{hide}), \\ \text{is}(\text{haha}(\text{hide}), \text{keiko}), \\ \forall x \forall y (\text{is}(\text{chichi}(x), y) \supset \text{oya}(y, x)), \\ \forall x \forall y (\text{is}(\text{haha}(x), y) \supset \text{oya}(y, x)) \end{array} \right\}$$

とする。 $G$  の個体定数は

*hide, yuito, keiko*、関数記号は  
*haha, chichi* であるから、

$$F = \{hide, yuito, keiko, haha, chichi\}.$$

$$H = \left\{ \begin{array}{l} yuito.hide, keiko, \\ haha(yuito), chichi(yuito), \\ \dots, \\ chichi(haha(yuito)) \\ \dots \end{array} \right\}.$$

## 7.2 Herbrand 解釈、モデル

閉論理式の集合  $G$  に対して、述語に含まれる変数に  $H$  の要素を代入した命題論理式の全体を Herbrand 基底(Herbrand basis)  $B_G$  という。

例 10 例 9 において、述語は *is, oya* であるから Herbrand 基底は

$$B_G = \left\{ \begin{array}{l} is(yuito, yuito), is(yuito, hide), \\ is(yuito, keiko), \dots \\ is(chichi(yuito), yuito), \dots \\ oya(yuito, yuito), \\ oya(yuito, hide), \dots \end{array} \right\}$$

となる。

以上の概念を基に、閉論理式の集合  $G$  の Herbrand 解釈  $(H, I)$  を与える。

解釈空間を Herbrand 領域  $H$  とし、個体定数  $c$  には  $I(c) \in H$  を、関数  $f$  には

$$I(f)(t_1, \dots, t_m) \in H \text{ を、述語 } p \text{ には次のよ$$

うに命題論理式をそれぞれ対応させる。

$$I(p)(t_1, \dots, t_n) = T \leftrightarrow p(t_1, \dots, t_n) \in B_G$$

このとき、次式を満たす素論理式の集合

$M$  を Herbrand 解釈  $(H, I)$  という。

$$M = \{p(t_1, \dots, t_n) \mid I(p)(t_1, \dots, t_n) = T, t_i \in H\} \subset B_G.$$

このとき、 $(H, I) \models G$  が成り立ち、 $M$  は

$G$  の Herbrand モデルという。

無矛盾な閉論理式の集合は Herbrand モデルをもつことがいえる。

例 11 例 9 において、以下の集合  $M$  は  $G$  の Herbrand モデルとなる。

$$M = \left\{ \begin{array}{l} is(chichi(yuito), hide), \\ is(haha(hide), keiko) \\ oya(keiko, hide), oya(hide, yuito) \end{array} \right\}.$$

以下、整合論理式を SkolemCNF に変形した節の集合  $\{C_1, \dots, C_n\}$  を考察対象にする。

る。

変数を含まないリテラルを基礎リテラル(ground literal)といい、この集合を基礎節(ground clause)という。

いま、 $S = \{C_1, \dots, C_n\}$  とする。節  $C_i$  に含

まれるリテラルの変数に  $S$  の Herbrand 領域  $H$  の基礎項を代入して得られる基礎節の

集合を  $H(S)$  と記す。 $H(S)$  は Herbrand

基底に対応する概念である。相補対を含まない基礎節はモデルに対応する概念である。

モデル  $M$  が基礎節の集合  $S$  のモデルとなるのは、 $S$  のどの基礎節  $C$  も  $M$  の要素を含むときとする。このとき  $M$  は  $H(S)$  のモデルとなる。モデルは複数存在する。

節の有限集合  $S$  のモデルが存在するとき  $S$  は充足可能(satisfiable)であると定義する。モデルがないときは充足不能という。空節(empty clause) ( $\square$ と記す)を含むどんな節の集合も充足不能となる。

節の有限集合  $S$  が充足可能であるための必要十分条件はある Herbrand 解釈が  $S$  を充足することである。

### 7・3 Herbrand の定理

この定理は次のように表現される。

「 $S$  が節の有限集合、 $H$  が Herbrand 領域であるとき、 $S$  が充足不能であるための必要十分条件は次の 1(または 2)である。

- 1  $H(S)$  のある有限部分集合が充足不能となることである
- 2  $H$  の有限部分集合  $P$  を用いてできる  $P(S)$  が充足不能となることである」

2 では  $P_i \subseteq P_{i+1}, \bigcup_{i=1}^{\infty} P_i = H$  が成り立つ。

$P_i(S)$  の充足不能性を調べるアルゴリズムが考案されたが、効率上の困難があった (Gilmore&Davis のアルゴリズム)。

## 8 導出原理と反駁

7-3 のアルゴリズムの効率化の中で、導出原理が考案された (Robinson, 1965)。

### 8・1 命題論理の導出原理

$C$  と  $D$  を次のような基礎節とし、 $L$  と  $M$  は相補対とする。

$$C \supseteq L = \{p\}, D \supseteq M = \{\neg p\}.$$

$R = (C - L) \cup (D - M)$  を  $C$  と  $D$  の基礎導出節 (ground resolvent) という。

次に、基礎節の集合  $S$  に対する基礎導出 (ground resolution)  $R(S)$  を

$R(S) = S \cup \{S \text{ の要素同士すべての対に対する基礎導出節}\}$  と定義する。この操作を導出原理 (Resolution Principle) という。  $n$  回この操作を行った結果できる集合を

$R^n(S)$  と記す。このとき次式が成り立つ。

$$S = R(S) \subseteq R^2(S) \subseteq \dots \subseteq R^n(S) \subseteq \dots.$$

節の個数は有限個なのでいずれかの  $n$  で  $R^n(S) = R^{n+1}(S)$  となり、生成される基礎導出節の個数は減少していく。空節  $\square$  の導出を反駁 (refutation) という。

[基礎導出定理]

「基礎節の有限集合  $S$  が充足不能であるための必要十分条件は、ある  $n$  に対して  $R^n(S) \ni \square$  となる、すなわち反駁が存在することである」

例 12  $S = \{\neg p \vee q, p \vee q, \neg q\}$ .

このとき次のような反駁が得られる。

- 1  $C_1 : \neg p \vee q, C_3 : \neg q \rightarrow R_1 : \neg p$
- 2  $C_2 : p \vee q, R_1 : \neg p \rightarrow R_2 : q$
- 3  $C_3 : \neg q, R_2 : q \rightarrow R_3 : \square$

別の反駁もある。

- 1  $C_1 : p \vee q, C_3 : \neg q \rightarrow R_1 : p$
- 2  $C_1 : \neg p \vee q, R_1 : p \rightarrow R_2 : q$

3  $C_3: \neg q, R_2: q \rightarrow R_3: \square$   
 いずれにせよ、 $S$  は充足不能となる。

### 8-2 述語論理の導出原理

変数  $v_i$ 、項  $t_i$  とするとき、 $v_i$  を  $t_i$  で置き換える代入を次のように表記する。

$$\theta = \{v_i / t_i\}, i = 1, 2, \dots, n.$$

論理式を  $\alpha$  と  $\beta$ 、代入を  $\theta$  とする。もし  $\alpha\theta = \beta\theta$  となるとき  $\alpha, \beta$  は単一化が可能といい、 $\theta$  は単一化代入(unifier)という。このうちで代入回数がより少ないもの、すなわち代入  $\lambda$ 、 $\theta$  に  $\lambda = \theta\xi$  が成り立つ場合、 $\theta$ 、 $\xi$  は  $\lambda$  より一般的と考えて最汎単一化(most general unifier, 略して mgu)という。mgu を用いると最小限の代入で2つの論理式を一致させられる。

例 13  $W = \{p(x, y), p(z, f(b))\}$ .

$$\theta = \{x/z, y/f(b)\}.$$

$$\sigma = \{x/a, y/f(b), z/a\}.$$

このとき  $\theta, \sigma$  は単一化代入となる。

$\sigma = \theta\{z/a\}$  だから  $\theta$  が mgu になる。

単一化(unification)アルゴリズムが導出の過程で使われる。

そこで述語論理の導出を定義する。いま、

$C, D$  を変数を共有しない(共有する場合は変数名を変更しておく) 節とし、それぞれのリテラルを  $L, M$ 、mgu を  $\sigma$  とする。 $L\sigma$  と  $M\sigma$  が相補対になるとき、

$R = (C - L\sigma) \cup (D - M\sigma)$  を  $C, D$  の導出

節(resolvent)という。また、節の集合  $S$  に対して、

$R(S) = S \cup \{S \text{ のすべての要素同士からなる導出節}\}$  を求める操作を 8-1 と同様に導出原理という。この導出を繰り返すと

$$S = R^0(S) \subseteq R(S) \subseteq \dots \subseteq R^n(S) \subseteq \dots$$

となる。

[導出定理]

「節の有限集合  $S$  が充足不能であるための必要十分条件は、ある  $n$  に対して  $R^n(S) \ni \square$  が成り立つことである」

導出は、 $R^n(S) \ni \square$  を見つけるまで続けられることになる。但し、その停止性の保証はない。何故なら、Curch の定理により一般に一階の述語論理における決定手順は存在しないからである。

例 14 反駁の簡単な例

$$S = \{p(x) \vee p(f(y)), \neg p(f(g(a)))\}.$$

$$1 \quad p(x) \vee p(f(y)).$$

$$2 \quad \neg p(f(g(a))).$$

$$3 \quad p(x) \quad 1, 2, \{y/g(a)\}.$$

$$4 \quad \square \quad 2, 3, \{x/f(g(a))\}.$$

8-3 導出原理による証明例

$S \models \alpha$  を証明するには、反駁しようとする

論理式  $\alpha$  の否定  $S$  に含めた集合  $S \cup \{\neg\alpha\}$   $\forall x \forall y \forall u \forall v (p(x, y, u, v) \supset p(u, v, x, y))$ .

に対して導出の操作を繰り返し行うことになる。その結果、空節  $\square$  が生成されれば  $S \cup \{\neg\alpha\}$  は反駁されるので充足不能となり、 $S \models \alpha$  が結論できる。以下で、証明の実例を考察する。

3 角の相等

$$\begin{aligned} \angle yxz &= \angle zxy \\ \forall x \forall y \forall z (q(y, x, z, z, x, y)). \end{aligned}$$

4 仮定

$$AB = AC \quad p(A, B, A, C).$$

例 15 初等幾何の定理の証明(林, 1973)

定理

「二等辺三角形の両底角は相等しい」

5 証明する命題

$$\begin{aligned} \angle ABC &= \angle ACB. \\ q(A, B, C, A, C, B). \end{aligned}$$

証明は次の 3 ステップを経る。

I 幾何学の知識を論理式化する。

辺、角の満たす条件を 2 つの述語を用いて表現する。点は  $x, y, z, u, v, w$  で表す。

$$\begin{aligned} p(x, y, u, v); xy = uv. \\ q(x, y, z, u, v, w); \angle xyz = \angle uvw. \end{aligned}$$

1 三角形の合同定理(二辺挟角相等)

$$\left. \begin{aligned} xy = uv \\ xz = uw \\ \angle yxz = vuw \end{aligned} \right\} \text{ならば } \angle xyz = \angle uvw \text{ を}$$

論理式で表すと次のようになる。

$$\forall x \forall y \forall z \forall u \forall v \forall w \left( \begin{aligned} &p(x, y, u, v) \wedge \\ &p(x, z, u, w) \wedge \\ &q(y, x, z, v, u, w) \\ &\supset q(x, y, z, u, v, w) \end{aligned} \right).$$

2 辺の相等 (対称律)

$xy = yx$ 、 $xy = uv$  ならば  $uv = xy$  を表す論理式は次のようになる。

II これらを節の集合に変形する。

$$C_1 : \left\{ \begin{aligned} &\neg p(x, y, u, v), \neg p(x, z, u, w) \\ &\neg q(y, x, z, v, u, w), q(x, y, z, u, v, w) \end{aligned} \right\}.$$

$$C_2 : \{ \neg p(x, y, u, v), p(u, v, x, y) \}.$$

$$C_3 : \{ q(y, x, z, z, x, y) \}.$$

$$C_4 : \{ p(A, B, A, C) \}.$$

$$C_5 : \{ \neg q(A, B, C, A, C, B) \}.$$

$C_5$  は定理の結論 5 の否定である。

III  $C_1 \sim C_5$  からの反駁を作成する。

$R_1 \sim R_5$ ; 導出節、 $\theta, \sigma, \lambda$ ; mgu とすると次の導出節の列を得る。

$$\begin{aligned} R_1: &\neg q(B, A, C, C, A, B), \neg p(A, C, A, B), \\ &\neg p(A, B, A, C). \end{aligned}$$

$$C_1 \theta; C_5.$$

$$\theta = \{ x / A, y / B, z / C, u / A, v / C, w / B \}.$$

$$R_2 : \neg q(B, A, C, C, B, A), \neg p(A, C, A, B).$$

$$C_4; R_1.$$

$$R_3 : \neg p(A, C, A, B).$$

$$C_3 \sigma; R_2, \sigma = \{ x / A, y / B, z / C \}$$

$$R_4: \neg p(A, B, A, C).$$

$$C_2 \lambda; R_3, \lambda = \{x/A, y/B, v/C\}.$$

$$R_5: \square \quad C_4; R_4$$

よって、 $\{C_i\}, i=1,2,3,4,5$  は充足不能であ

り、定理は背理法により証明された。

## 9 PROLOG とその活用例

PROLOG は 1972 年頃、Alain Colmeraur と Pilippe Roussel が考案した述語論理処理のための言語である。この言語の処理系は、述語論理式  $S$  とある論理式  $\alpha$  に対して  $S \models \alpha$  かどうかを反駁で証明する。

このため、PROLOG 処理系では SLD 導出 (Selective Liner resolution for Definit clause) という操作がパターンマッチング、バックトラック処理で行われる。

処理の効率化という観点から扱う節は Horn 節に限定している。推論規則の後件が 1 つからなる自然演繹  $NK$  や直観主義論理体系  $LJ$  に似ている。Horn 節は以下のような論理式の節  $C$  である。

$$p_1 \wedge p_2 \wedge \cdots \wedge p_m \supset q$$

$$\equiv \neg p_1 \vee \neg p_2 \vee \cdots \vee \neg p_m \vee q.$$

$$C = \{\neg p_1, \dots, \neg p_m, q\}.$$

この式の PROLOG 表現は次式になる。

$$q: \neg p_1, p_2, \dots, p_m. \quad \dots \textcircled{1}$$

$q$  は head、 $p_1, p_2, \dots, p_m$  は body という。

head を  $A$ 、body を  $\Delta$  とすれば①は「 $\Delta$  ならば  $A$  である」を意味し、規則という。

$\Delta$  が空ならば、 $q$  と記す。これは恒真を表す命題であり、「常に真」を意味する事実といい、公理や前提の表現に用いられる。

head が空のときは以下のように記す。

$$?- p_1, p_2, \dots, p_m.$$

これは、 $p_1, p_2, \dots, p_m \supset$  もしくは  $\neg p_1 \vee \neg p_2 \vee \cdots \vee \neg p_m$  である。目標であり、質問又は結論の論理式を表すのに用いる。

例 16 例 15 の問題を証明する。

- 2  $p(X, Y, Y, X).$
- $p(U, V, X, Y): p(X, Y, U, V).$
- 3  $q(Y, X, Z, Z, X, Y).$
- $q(X, Y, Z, Z, Y, X).$
- 1  $q(X, Y, Z, U, V, W): p(X, Z, U, W)$   
 $, q(Y, X, Z, V, U, W), p(X, Y, U, V).$
- 4  $p(a, b, a, c).$
- 5  $q(a, b, c, a, c, b).$

SWI-PROLOG を用いてこの順に入力、コンパイルする。計算は以下ようになる。

```
[ trace ] 1 ?- q(a,b,c,a,c,b).
Call (6): q(a,b,c,a,c,b) ? creep
Call (7): p(a,c,a,b) ? creep
Call (8): p(a,b,a,c) ? creep
Exit (8): p(a,b,a,c) ? creep
Exit (7): p(a,c,a,b) ? creep
Call (7): q(b,a,c,c,a,b) ? creep
Exit (7): q(b,a,c,c,a,b) ? creep
Call (7): p(a,b,a,c) ? creep
Exit (7): p(a,b,a,c) ? creep
Exit (6): q(a,b,c,a,c,b) ? creep
True .
```

PROLOG は、入力文の上から下へ、body は左から右へ depth-first search で実行する。

1 は、head と body に述語  $q$  を含み無限ループに入るので 2,3 の次に入力する工夫をした。PROLOG は健全だが完全ではない。

例 17 Monkey-Banana 問題

問題

「いま、地点  $a$  に猿がおり、そばに箱がある。地点  $b$  に吊るされたバナナを猿は取れるか」

I 問題状況を表現する関数、述語

集合  $S$  は場の状態の集合、集合  $P$  は猿のいる位置の集合、 $M = \{T, F\}$  は真理値の集合とする。

$$pushbox(x, s); P \times S \rightarrow S.$$

$$climbbox(s); S \rightarrow S.$$

$$grasp(s); S \rightarrow S.$$

$$onbox(s); S \rightarrow M.$$

$$atbox(x, s); P \times S \rightarrow M.$$

$$hold\_banana(s); S \rightarrow M.$$

$pushbox(x, s)$  は状態  $s$  で位置  $x$  まで箱を移動した状態、 $climbbox(s)$  は状態  $s$  で箱に登った状態、 $grasp(s)$  は状態  $s$  でバナナをつかんだ状態への変化を表す関数である。

また、 $onbox(s)$  は状態  $s$  で猿が箱の上にいるか否かで  $T, F$  となる述語とする。

$atbox(x, s)$  は、 $s$  で猿が  $x$  にいるか否かで

$T, F$  となる述語、 $hold\_banana(s)$  は  $s$

でバナナをつかむか否かで  $T, F$  となる述語とする。

II 問題の状況を述語、関数で記述する。

$a$  を猿の初期位置、 $b$  を最終位置とする。

$$1 \quad \forall x \forall s \left( \begin{array}{l} \neg onbox(s) \supset \\ atbox(x, pushbox(x, s)) \end{array} \right).$$

$$2 \quad \forall s (onbox(climbbox(s))).$$

$$3 \quad \exists s \left( \begin{array}{l} onbox(s), atbox(b, s) \supset \\ hold\_banana(grasp(s)) \end{array} \right).$$

$$4 \quad \forall x \forall s \left( \begin{array}{l} atbox(x, s) \supset \\ atbox(x, climbbox(s)) \end{array} \right).$$

$$5 \quad \neg(onbox(a)).$$

$$6 \quad \exists s (hold\_banana(s)).$$

III 述語 1~5 を PROLOG で記述する

$$1 \quad atbox(X, pushbox(X, Y)) :- not(onbox(Y)).$$

$$2 \quad onbox(climbbox(S)).$$

$$3 \quad hold\_banana(grasp(S)) :- onbox(S), \\ atbox(b, S).$$

$$4 \quad atbox(X, climbbox(S)) :- atbox(X, S).$$

$$5 \quad not(onbox(a)).$$

6 は否定の形で反駁を導出するので

$$\forall s (\neg hold\_banana(s)) \text{ となる。}$$

これを PROLOG では  $?hold\_banana(S)$  と記述する。

IV SWI-PROLOG による実行

結果は以下の通り、最終の状態  $S$  の値を合成関数の形で返してくる。

$$?hold\_banana(S).$$

$$S=grasp(climbbox(pushbox(b,a))).$$

これがバナナをつかむ行動手順を表す合成関数である。この操作は Resolution プログラムの unification で形成される代入リストを逆に辿ることから抽出することができ

る(林,1973)が、PROLOG を使えばいとも簡単にできてしまう。

なお、論理式の節の集合から手順を合成する技術は“プログラムの自動合成”の初歩とも考えられる。

## 10 おわりに

論理の世界は奥が深く、一見、難解のように見えるが、少しずつ辛抱して学べば計算機科学とのつながりなど面白い視界が開けてくる。したがって、生徒にとって興味深い領域の教材化が求められている。

本稿で紹介した PROLOG を用いて発展的な論理教材を開発し、高校生にその一端を分かりやすく理解させることができれば、論理への興味関心は一層高まるにちがいない。

そのためにも、この分野に対する知識の体系的な理解を深めるため、数理論理学の素養を習得し、Herbrand の定理や導出原理、PROLOG の考え方を会得しておくことは意義のあることである。本稿がその誘い水となれば幸いである。

## 参考文献

- [1]B.Andrews : 数理論理学とタイプ理論、  
(小川倫子訳 1986),丸善(株)
- [2]井関清志(193) : 記号論理学(述語論理)、  
槇書店
- [3]Kleene(1967) : Introduction to Meta-  
Mathematics,NORTH-HOLLAND  
PUBLISHING CO.
- [4]佐藤泰介(1981) : 導出原理による定理証

- 明、情報処理 vol.22,No.11
- [5]N.Bourbaki(1966): 数学原論 集合論 1,  
(前原他訳 1968),東京図書
- [6]竹内外史・八杉満利子(1987) :  
証明論入門、共立出版
- [7]高橋陽一郎他(2011) : 詳説・数学 I、数  
学 II、数学 A、数学 B、啓林館
- [8]Davis(1958):Computability and  
Unsolvability,McGraw-Hill Book Co.  
(渡辺,赤訳,計算の理論,岩波書店,1966)
- [9] 林雄一郎(1973) : RESOLUTION に基  
づく問題解決システムとその応用とし  
ての手順の合成について,東芝技術報告  
RM-12176
- [10] 林雄一郎(2005):人工知能研究における  
推論,第 55 回数学教育実践研究会
- [11] Bratko (1986):PROLOG  
Programming for Artificial  
Intelligence,Addison-Wesley  
Publishing company,PROLOG への入門  
(安部憲広訳)、近代科学社
- [12] 前原昭二(1961) : 数理論理学序説、共  
立全書[13]
- [13] J.A.Robinson(1965) : A Machine  
-Oriented Logic Based on the Resolution  
Principle,J.ACM,Vol.12,No.1

## 〈論 文〉

## 英語慣用句の通時的研究

— go the whole hog の軌跡 —

伊藤一正\*

**A Diachronic Study of an English Idiom**

— Following the Track of “go the whole hog” —

Kazumasa ITO\*

## 要旨

本稿は、英語慣用句 “go the whole hog” の通時的変化を調査するものである。その発祥の国と時期、定冠詞が消失した国と時期、変異型の種類、そして現在のこの慣用句と変異形の使用頻度について、2種類の大規模コーパスの活用と並行して文献による調査も行った。その結果、この慣用句は米国が発祥地である可能性が高く、また定冠詞の消失も米国で起こった現象であること、さらに英国では現在も定冠詞を付けて使われるが、米国においては定冠詞が省略された形が同程度の使用頻度であることが確認された。また、変異型は現在、廃語寸前の使用頻度であることも確認されたが、19世紀にほぼ同時に出現しているため発祥国は特定できなかった。

**Abstract**

The purpose of this paper is to explore the diachronic change of the English idiom “go the whole hog.” Conducting literature research along with using two large-scale corpora, the author examined the country and period in which this idiom and its variants had originated and its definite article had disappeared. Variant types of this idiom and their present frequency of use as well as that of the original “go the whole hog” were also examined. The result showed that “go the whole hog” most probably originated in the United States, where the disappearance of the definite article occurred afterward. It was also found that “go the whole hog” is predominantly used in the United Kingdom whereas in the United States, “go whole hog” is used equally frequently. As for variants of this idiom, the research result showed that they originated almost simultaneously in both countries in the 19th century, and that they are on the verge of extinction.

キーワード： 慣用句 (idiom) 通時的変化 (diachronic change) コーパス (corpus)

---

\*北海道情報大学情報メディア学部准教授 Associate Professor, Department of Information Media, HIU

## 1 はじめに

本稿は、英国と米国で共通に使用される慣用句の中で、誕生から現在に至るまで大きな変化を遂げた慣用句を英国の小説 *Harry Potter* から取り出し、その発祥から変異型、冠詞の消失、使用頻度などについて変遷の歴史を探ろうとするものである。

具体的には、「徹底的にやる」を意味する *go (the) whole hog* について、その誕生から冠詞消失の時期、変異形の種類と出現の時期、さらに英国と米国における現在の使用頻度を調査する。

このように英米両国の慣用句の差異、特に米語が英国に与えた影響を追跡する研究を松田(1985)が、慣用句については文献調査と英語母語話者に対するアンケート調査で、また単語は当時使われだした語数100万語のコーパス(*corpus*)を活用して行った<sup>[1]</sup>。慣用表現の通時的な研究としては、Uchida(2014)が *at the end of the day* の意味変化について6つのコーパスを駆使して調査している<sup>[2]</sup>。

## 2 調査方法

変遷の流れを調べる上で最初に行うべきことは、初例がいつなのかを特定することである。伊藤(2015)が示したように<sup>[3]</sup>、現在の使用頻度を調べる上で大規模コーパスは極めて有用である。しかし、ある慣用句の初例を調べるためには各種大規模コーパスと *Oxford English Dictionary* (以下、*OED*) などの初例の時期を記載している辞書、あるいは実際に発行された書物との比較も必要になってくる。今回の調査では、複数の慣用句の出現時期をグラフで同時に可視化できる唯一のコーパスである *Google Books Ngram Viewer* (以下、*GBNV*) を使って慣用句 *go the whole hog* の

大まかな変遷の流れを把握し、その後辞書や文献などでさらに詳しく調べた。また、必要に応じて他のコーパスも補完的に使用した。

### 2-1 *GBNV* のグラフが示す初例の正確さ

*GBNV* の初例を示す正確さを見るために、小説 *Harry Potter* 全7巻の中で使われている慣用句で、*OED* が米国発祥(*orig. US*) と記述しているものを検索窓に打ち込み、米国における出現時期が英国より早いかどうかを確認した。以下は、この小説に出てくる *OED* が米国起源としている慣用句を一覧にしたものである。

- ① *bite off more than you can chew*
- ② *chicken out*
- ③ *get a move on*
- ④ *close shave*
- ⑤ *close call*
- ⑥ *tip off*
- ⑦ *this neck of the woods*
- ⑧ *double take*
- ⑨ *double talk*
- ⑩ *get the hang of it*
- ⑪ *spill the beans*
- ⑫ *you're history*
- ⑬ *search me*

*GBNV* で①と⑦をグラフ化すると、図1と2のように明確に米国での出現が英国より時期的に早いことを確認できる。青線が米国、赤線が英国で2012年までに発行された出版物でこの慣用句が使われた様子を表している。縦軸はそれぞれの国における使用頻度を表す。折れ線の右側に、実際に検索窓に打ち込んだ文字列が示されている。文字列は米国の場合は(検索する慣用句:*eng\_us\_2012*)、英国は(検索する慣用句:*eng\_gb\_2012*)(以下、同じ)である。

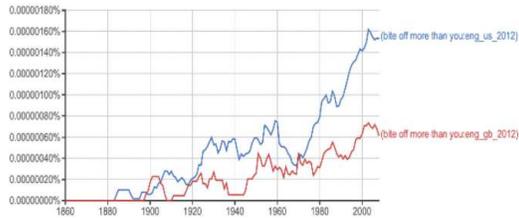


図1 bite off more than you (can chew)の比較

GBNVは5語までしか打ち込むことができないため、bite off more than you と打ち込んだが、出典がその後ろに can(could) chew を伴っているのを確認している。

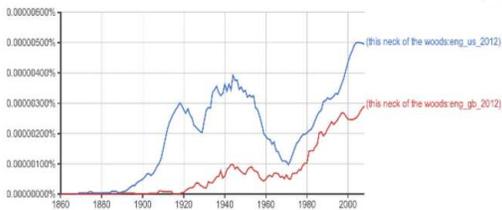


図2 this neck of the woods の比較

このように、明確に米国語法として使われ始めたとグラフ上で判断できるのは、調べた慣用句13例の中で10例であった。上記以外の8例のグラフは資料を参照されたい。この調査で分かったことは、少なくともGBNVにおいては、初例の年代が古くにさかのぼるにしたがって、初例の出現時期が判別しにくくなることである。しかし、GBNVの説明にあるように、19世紀以前に英語で発行された書籍は合わせて50万冊という数であり[4]、当然、年代がさかのぼればGoogle Booksが所有する書籍の数も少なくなり、正確な出現時期を特定することは困難になる。GBNVでは19世紀中盤以降の初例の時期についてはかなり正確に抽出できるが、それ以前になると文献を調べたり、他のコーパスと比較する必要性が出てくる。

次は時期を特定できなかった例の1つである get the hang of it のグラフである。

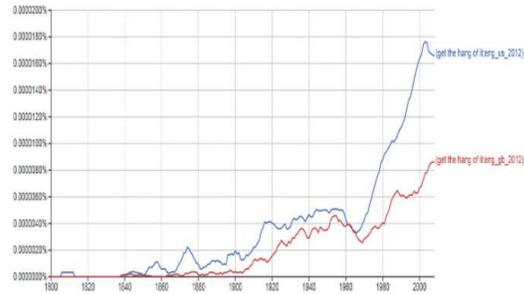


図3 get the hang of it の比較

1810年ころに1つの山があるが、その出典を調べると、それに相当する書籍が示されておらず、その次の1840年ころの山は青線(米国)と赤線(英国)が重なり合っている。このようにグラフ上では初例が英国と米国のどちらかが明確にできないケースが、close shave, double talk (資料参照)とあわせて3例あった。なお、search me は文字通り「私(の身体)を捜してごらん。何も出ませんよ。」といった意味が用例に含まれるため、同じ意味の You can search me を打ち込んだ。また、chicken out は the hen breaks the egg and lets the chicken out といった使用例が混ざるため、「おじけづく」の意味を表すため過去時制で打ち込んだ。

### 3 go the whole hog

#### 3-1 表す意味

この慣用句の出現は19世紀初頭にまでさかのぼる。「豚一頭(the whole hog)を丸ごと食べる(eat up)」という表現から転じて「極端に走る、とことんまでやる(リーダーズ英和辞典)[5]」という意味を表すようになったと推測できるが、OEDの記述もそのことを示唆している[6]。

1841年に発行された英国の小説にも、この慣用句の変異形と思われるが表現 go it the whole hog を見ることができる。

(1) This furious thrust was, however, not only admirably parried by Playfair but the blade of Boon's sword was turned off shivering in the air and the pointer of Playfair's was planted against Boon's chest so closely and surely, that the life of the latter was completely at Playfair's disposal. He gallantly spared it, on account of Boon's ignorance of fencing. Saying "I conclude the meeting will now terminate, for I have full satisfaction." "No, by the 'tarnal! We'll **go it the whole hog**," roared Boon<sup>[7]</sup>. (太字筆者, 以下同じ)

フェンシングによる勝負に負けても、「いや、(どちらかが死ぬまで)徹底的にやるんだ」と敗者が叫んでいる場面である。

この意味合いは現在も変化していない。次の例は、ある人物が自分の性格を述べている一文であるがこの慣用句の持つ意味合いがよく表現されている。

(2) I personally hate compromise. It doesn't go with me, with my character, with my way of doing things; it doesn't fit, it is not me. If I want to do something, I do it, and if not, I leave it; but if I do it, I do it in full. I **go the whole hog**. To the bitter end. No half way. No weak measures. No fifty-fifty. Cut your ladder and burn your boats. Don't leave loopholes<sup>[8]</sup>.

妥協をせず最後まで徹底的にやり通すという強い意志・態度を読み取ることができる。小説 *Harry Potter* では次のような場面で使われている。

(3) 'We'll need to practice Disappearing together under the Invisibility Cloak, for a start, and perhaps Disillusionment Charms would be sensible too, unless you think we should **go the whole hog** and use Polyjuice Potion? In that case

we need to collect hair from somebody. I actually think we'd better do that, Harry, the thicker our disguises the better...' [9].

「変身薬を使って徹底的にやらないのであれば、透明マントなどの他の術を使ったほうが…」という意味合いで、やはり「徹底して最後までやる」というニュアンスが醸し出されている。

### 3-2 発祥

この慣用句は英国発祥かそれとも米国発祥なのかを調べるため、GBNV にそれらをすべて俯瞰できるようなグラフが現れるように打ち込んだ結果が次の図4である。

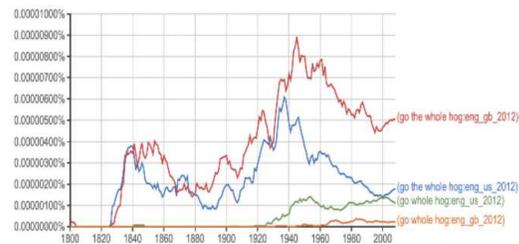


図4 go (the) whole hog の変遷

米国における *go the whole hog* の推移が青色、同じく英国における推移が赤色、さらに米国における *go whole hog* の推移が緑色、そして英国におけるそれが橙色で示されている。前述のとおり書籍の発行部数の少なから、19世紀前半以前の初例の特定は困難なことが多い。この図から1920年ころ米国において定冠詞が消失したことを明確に見て取れる。しかし、*go the whole hog* の出現は19世紀初頭であること以外、英国と米国のどちらが先であるか明確には判別できない。

英国の新聞 *the Guardian* (電子版 October 8<sup>th</sup>, 2010) は掲載したコラムで、根拠は示していないが *get the hang of it* と並んで *go the whole hog* をアメリカ語法 (Americanism) の例とし

て取り上げている[10]。

また、OEDはこの慣用句を米国起源としてはいないが、1870年に米国人著述家 George Ticknor Curtis によって書かれた米国人辞書編纂者 Daniel Webster の伝記の中で、1828年1月にこの慣用句を Webster が手紙の中で使用したことが記されているのを初例としている。以下はその手紙の抜粋である[11]。

(4) “He will either go with the party, as they say in New York, or **go ‘the whole hog’** as it is phrased elsewhere, making all the places he can for his friends and supporters, and shaking a rod of terror at his opposers.”

しかし、実はこれより以前の1823年に米国の詩人 Samuel Woodworth により使用されていた事実を Corpus of Historical American English (以下、COHA) から抽出することができる[12]。

(5) The best prescription is a roar of laughter: One hearty laugh, no matter how excited, May save a life when every hope is blighted. T is true, Placide has got an epilogue, But taint the thing— it don’t “**go the whole hog;**” So, while he’s back there, spelling out each line, I’ll give you an extrumperty of mine; Original throughout—no one has read it[13]. (原文のまま)

次に文献を調べていくと、1929年に米国で発行された *The Cabinet of Institution, Literature, and Amusement* の中でこの慣用句が使用されている。

(6) In a town not forty miles from Hallowell, there lived a decent but jealous weight who was famous for “**going the whole hog**” on the federal side, being particularly devoted to the interest of

Gov. Strong [14].

また、1833年に発行された英国人 Thomas Hamilton による米国旅行記 *Men and Manners in America* において、“I learned that ‘**going the whole hog**’ is the American popular phrase for Radical Reform, and is used by the Democratic party to distinguish them from the Federalists[...].” [15]と記されており、この慣用句が米国語法であると述べている。

さらに、英国で書かれた書簡集の中に、“you Bath people appear to be all Radicals and **go the whole hog** as they say in America” [16] という1836年当時の記述が残されており、この慣用句が米国語法と認識されていたことが伺える。

### 3-3 定冠詞の消失

図4から、go the whole hog の定冠詞の消失は1920年ころ米国で始まったことを看取できる。しかし、こうした慣用句の多くが俗語表現として誕生し、一般的に使用され書籍に登場するまで時間差があることを考慮しなければならない。Flexner (1982)はそのことについて次のように記している。

(7) All such dates for the earliest known use of a word or expression can, however, be deceptive: many older terms entered the spoken language years before they were recorded, and many others have probably appeared in earlier writings where no researchers has yet found them[17].

このことを裏付ける書籍からの引用を2例、次に記す。

(8) Like prudent investors, the brothers did not **go "whole hog"** (an Americanism that amused foreigners of the time) but risked little upon their venture [18].

これは米国 New York 市で現在も営業しているレストラン Delmonico's の創立者について 1935 年に出版された書籍の中の一文である。この店は 1820 年代に兄弟によって始められ、この文はその兄弟の経営に対する姿勢を表している。無理な投資をしなかったようであるが、それを(not) go whole hog で表している。そして、この慣用句を当時の外国人たちが興味深く聞いていたことを書き添えている。(ただし著者が go the whole hog と記すべきところを go whole hog と記述した可能性は残る。)

もう一例、1841 年に英国で発行された米国を舞台とした小説 *Playfair Papers* の中では go the whole hog と go whole hog の両方が使用されている。

(9) "Citizens, for governor and members of both houses there must in my consideration be one whole-hog opinion for candidates — that, I calculate, is to **go whole hog** for whole of disputed territory, and in taking the census to add up all Madawaska settlement to State of Maine population; then I consider if the hero of Tippecanoe, that be'es General Harrison, **goes whole hog** for disputed territory, then State of Maine will conclude on him for president"[19].

(10) The conduct of the President was then approved; and to **go the whole hog** and to war, if not to be had without war, for the whole of the disputed territory was agreed to as the *sine qua non* principle of voting[20].

### 3-4 定冠詞の有無に関する辞書の記述

小説 *Harry Potter* の米国版はこの慣用句を定冠詞がない形に変更を加えていない[21]。これは図 4 から看取できるように、現在の定冠詞のある場合とない場合の使用頻度が大きく差がないため、米国の編集者が敢え

て変更しなかったと推測される。

しかし、近年日本で発行された辞書には go (the) whole hog と記述するケースが多い(リーダーズ英和辞典[22], ランダムハウス英和辞典[23])。英国で発行された辞書は go the whole hog のみ記載するもの(Macmillan English Dictionary[24]), go whole hog をアメリカ語法として記述するもの(Longman Dictionary of Contemporary English[25])の両方がある。米国発行の辞書、あるいは英国発行の米国のイディオムを扱った辞書では、通常定冠詞は省かれるとするもの(The American Heritage Dictionary of Idioms[26])と定冠詞がない形のみを記載しているもの(Cambridge Dictionary of American Idioms[27])がある。OED に go whole hog の記載はない。Go to the whole hog という形も記述しているが誤記である可能性が高い。

## 4 変異型

### 4-1 go the whole hog or none 及び go the whole hog or nothing

1870 年に英国で発行された俗語辞典に、go the whole hog と並んで、the whole hog or none という表現が記されている[28]。下記の例(15)のように go the whole hog or none として使われる場合と、the whole hog or none が独立して名詞として使用される場合がある。また、ランダムハウス英和辞典には同じ意味の the whole hog or nothing が記載されている[29]。

(11) Mama said, "When a man want to marry you, he's got to take you **whole hog or none.**" Don't let him sample the goods or parcel you off until he makes up his mind[30].

男性が自分と結婚したいなら、(結婚) するかしないかのどちらかで、品定めをさせ

てはいけない、と母親が娘に言い聞かせたという内容である。ここでは副詞として使われている。

(12) Once I decide to do something, it is **whole hog or nothing**. I was really anxious. My gears were in motion. I ran into the house and flew up the stairs to my room. Tearing through closet, I was frantic to find anything to make a loincloth out of<sub>[31]</sub>.

例(12)は一度やると決めたら、とことんまでやるか、全くしない自分の性格を表している。ここでは名詞として使われている。

この2つの表現を英国と米国においてどの時期に出現したかをGBNVで調べたのが図5である。GBNVが5語しか打ち込めないこと、及び whole hog or none (nothing)と打っても go (the) whole hog or none あるいは go (the) whole hog or nothing が含まれて表示されるため、それぞれのグラフ線の右に示された文字列を打ち込んだ。青線が米国における(go) (the) whole hog or none, 赤線が英国におけるそれを表し、緑色が米国における(go)(the) whole hog or nothing, 橙色が英国におけるそれを示している。

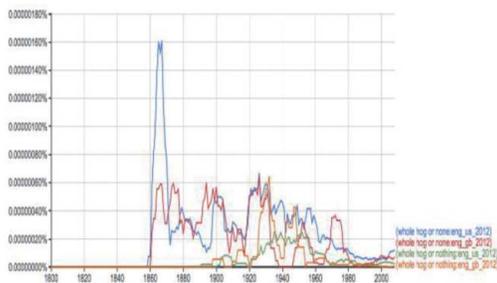


図5 whole hog or none (nothing)の英米の比較と推移

「全てか無か」という意味で the whole hog (全て, 全体)の反意語 (nothing)を後に伴っている。動詞 go を付けて「徹底的にやるかやらないか」を表す。図5から読み取れることは, (go) (the) whole hog or none は1860

年ころから, (go) (the) whole hog or nothing は1890年ころから出現している。英国と米国でどちらが先に出現したかという点については, 米国がやや先行しているように看取できるが, その根拠となる文献は見つからなかった。

#### 4-2 whole hog の変種

go the whole hog の whole が他の単語に変化する場合がある。英国のノーベル文学賞受賞作家 Harold Pinter による戯曲 *The Homecoming* に次のような場面がある。

(13) Joey: I've been **the whole hog** plenty of times. Sometimes...you can be happy...and not **go the whole hog**. Now and again...you can be happy...without **going any hog**<sub>[32]</sub>.

「おれはいままでとことんまでやったことはしょっちゅうある。でも時には.....幸せになれるんだ.....とことんまでやらないでも。時折は.....しあわせになれるんだ.....何もやらないでも。[33]」男女の性的関係の程度を, whole を変化させて表している。最初の the whole hog は名詞である。

また, hog の婉曲語として1933年に米国で発行された書籍に animal が使われている。以下にその文を示す。

(14) The dance was all life. They spin round—they set to—they heel and toe—they double shuffle—they weed corn—they kiver taters. They whoop and stop. “Now, Dick,” says Sal, “didn’t I go my death?” “Yes, you did, Sal. But didn’t I **go the whole animal**?” “Yes you did, Dick. You are the yallerest flower of the forest”<sub>[34]</sub>.

「自分は死ぬほど踊っていたでしょう」と問いかける相手に対して「こちらも徹底的

に踊りましたよね」と問い返している場面である。

この表現がいつごろ出現したか、また米国語法なのかどうかを確認するためにGBNVを使ってグラフ表示した。

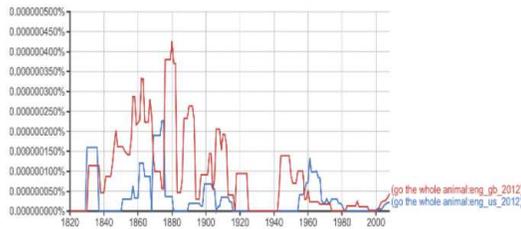


図6 go the whole animal の英米の比較と推移

この図から英国(赤線)と米国(青線)ほぼ同時に whole animal が 1830 年ころから書籍に現れたことがはっきりと分かる。これは go the whole hog 出現の時期とほぼ重なる。やはり hog という単語に抵抗感があったからだと推測される。なお、A Dictionary of Slang and Unconventional English はこの表現を米国語法 (a US phrase) と記述している<sup>[35]</sup>。

## 5 考察

GBNV はかなり正確に慣用句の発祥から変化の歴史を表示できることを 2 章の「調査方法」で確認してから開始した go the whole hog の調査であったが、get the hang of it と同様にグラフ上では明確にできないため、大規模コーパス誕生以前と同様に文献に頼る結果となった。しかし、OED における初例が米国の文献であること、それ以前に米国の文献で使用されていたこと、英国の文献においてこの慣用句が米国で使われているという記述が見られることを総合的に判断して、go the whole hog が米国起源であることはほぼ間違いないであろう。その後間もなく英国で使われ出し、図 4 から読み取れるように、英国では現在も比較

的高い頻度で使用されている。

一方米国においては図 4 のグラフ上では、1920 年ころから定冠詞の消失が始まり、現在は定冠詞が付く形と、付かない形が共存している。慣用句の定冠詞の消失はその他に in the light of (～を考慮して) があり、*Harry Potter* においても全編で in the light of が 2 箇所、in light of が 1 箇所使われている。しかし、米国版では全て in light of に統一されている点で go (the) whole hog とは対照的である。

さらに、今回の調査で明らかになったこととして 定冠詞の付かない go whole hog が文献から 1820 年代、あるいは 1830 年代にすでに話し言葉で使用されていた可能性が高いことである。慣用句は活字になるまで話し言葉で一定期間使われていたことは容易に想像できるが、このケースでは 100 年近い間、そうした状態にあったことになる。GBNV は年間の書籍に使用された回数が 40 回以下の場合にはグラフに表示されないことを考慮すると<sup>[36]</sup>、数少ないながらもこの 100 年間、継続的に活字に表されていた可能性も否定できない。

この慣用句の変異形については、まず go (the) whole hog or none 及び go (the) whole hog or nothing の通時的変化を調べた。現在の使用頻度は非常に低いが、前者が出現した 1860 年ころに歌の歌詞に使われていたことから、そのことと急激な使用頻度の上昇とがなんらかの関係がある可能性があると推測される。例(15) は米国で 19 世紀中ごろ歌われた歌詞の一部で、曲名は *Whole Hog or None* である<sup>[37]</sup>。

- (15) The people all act so strangely and so very funny,  
Everybody's bound to **go the whole hog or none**.  
Why is it that our ladies

Are deep in husband's books,  
With such tremendous hoops?  
And if their husbands do complain,  
She quick to him will run-----  
“My dear,” says she, “You know I go  
‘**The whole hog or none.**’”

また, hog が変化した the whole animal も、現在は廃語寸前であるが、1880 年を中心に比較的高い頻度で英国において使用されていたことが分かった。さらに 1916 年に Charles Dickens が *Nicholas Nickleby* において whole を変化させて go the extreme animal という表現を使用した<sup>[38]</sup>。しかしこれは一般に広まることなく、GBNV で検索してもグラフ表示されなかった。

以上、慣用句 go (the) whole hog の変遷に関しコーパスを基礎にしながら、文献を調べることによって調査してきた。再度その変化の軌跡を振り返ると、言語を生み出す人間は、言語を創造的に変化させる生き物であると言えるが、それと同時に生み出した言語を「気まぐれ」に変化させているとも言えよう。Ammer (2013) はこの現象を E.B.White の言葉を引用して次のように表現している<sup>[39]</sup>。

“The living language is like a cowpath; it is a creation of the cows themselves, who have created it, follow it or depart from it according to their whims or their needs.”

言語の変化を、自ら通り道を作っておきながら気分次第で、あるいは必要に応じて道を辿ったりする牛の動きに例えている。言い得て妙である。今後、この慣用句がどのように変化していくのか注目したい。

## 使用したオンライン・コーパス

Davies, Mark. (2010) “Corpus of Historical American English (COHA)”  
<<http://corpus.byu.edu/coha/>>  
(2015 年 7 月 14 日最終アクセス)  
Google Books Ngram Viewer. (2013)  
<<https://books.google.com/ngrams>>  
(2015 年 7 月 14 日最終アクセス)

## 参考文献

- [1]松田裕(1987) 『米語のインパクト—当てにならない辞書の標示—』大修館書店, pp.15-20, pp.193-217。
- [2]Uchida, Mitsumi. (2014) “*At the End of the Day: Detecting Semantic Shift of a Multi-word Adverbial in Corpora*” in Yoko Iyeyri, and Jennifer Smith(eds.), *Studies in Middle and Modern English: Historical Change*. Osaka Books Ltd, Osaka: pp.95-113.
- [3]「コーパスを活用した英語慣用句の通時的研究—before you can say Jack Robinsonを中心に—」『北海道情報大学紀要』第26 巻, 第2号, 平成27年3月, pp. 15-32。
- [4]Google Books Ngram Viewer  
<<https://books.google.com/ngrams/info>>  
(Accessed on July 14<sup>th</sup>, 2015)
- [5]高橋作太郎・笠原守・東信行(編)(2012) 『リーダーズ英和辞典』第3版 研究社, p.2671。
- [6] Oxford English Dictionary, 2<sup>nd</sup> ed, Version 4.0. (CD-ROM)
- [7] Patterson, Paul. (2012) *Playfair Papers*, General Books. 【復刻版】
- [8] Carlos G. Valles. (2010) *The Art of Choosing*, New York, NY: Crown Publishing Group, p.144
- [9] Rowling, J. K. (2007) *Harry Potter and the Deathly Hallows*, Bungay, Suffolk: Bloomsbury, p.356.

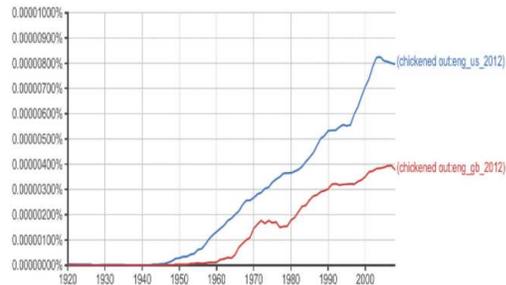
- [10] The Guardian. Nicholson, Bob. *Racy Yankee slang has long invaded our language*, (Issued on October 8<sup>th</sup>, 2010) <<http://www.theguardian.com/commentisfree/2010/oct/08/chillax-emma-thompson-slang-english-language>>
- [11] Curtis T. George (1870) *Life of Daniel Webster*, New York, NY: D. Appeton and Company. Vol.1. <<http://babel.hathitrust.org/cgi/pt/search?q1=go%20the%20whole%20hog;id=uva.x004615985;view=1up;seq=9;start=1;sz=10;page=search;orient=0.>> (Accessed on June 19<sup>th</sup>, 2015)
- [12] Davies, Mark. (2010) “Corpus of Historical American English (COHA)” <<http://corpus.byu.edu/coha/>> (Accessed on July 14<sup>th</sup>, 2015)
- [13] Woodworth, Samuel. (1823) *Epilogue, to Cox's Opera of Rokeby Spoken by Barnes, Placide, and Hilson*.
- [14] The Cabinet of Instruction, Literature, and Amusement. (1829) Vol.1. New York: Theodore Burling. p.747. Hathi Trust Digital Library <<http://babel.hathitrust.org/cgi/pt/search?q1=going+the+whole+hog&id=njp.32101077277315&view=1up&seq=8>> (Accessed on June 19<sup>th</sup>, 2015)
- [15] Hamilton, Thomas. (1833) *Men and Manners in America*, Edinburgh; London: W. Blackwood. p.11. University of Alberta Libraries <[https://ia700400.us.archive.org/29/items/cihm\\_25700/cihm\\_25700.pdf](https://ia700400.us.archive.org/29/items/cihm_25700/cihm_25700.pdf)> (Accessed on June 19<sup>th</sup>, 2015)
- [16] Letter from George Simson to Christian Ramsay (1836) University of St Andrews <<https://pacific.st-andrews.ac.uk/Dserve/dserve.exe?dsqIni=Dserve.ini&dsqApp=Archive&dsqCmd=Show.tcl&dsqDb=Catalog&dsqPos=1&dsqSearch=%28%28%28text%29%3D%27go%27%29AND%28%28text%29%3D%27the%27%29AND%28%28text%29%3D%27whole%27%29AND%28%28text%29%3D%27hog%27%29%29>> (Accessed on June 19<sup>th</sup>, 2015)
- [17] Flexner, Stuart B. (1982) *Listening to America*, New York: Simon & Schuster, Inc. p.12.
- [18] Thomas, Lately. (1967) *Delmonico's: A History of Splendor*, Boston: Houghton Mifflin Company. p.9.
- [19] Patterson, Paul. (1841) *The Playfair Papers, or Brother Jonathan, the Smartest Nation in All Creation*. Vol.2. London: Saunders and Otley, Conduit Street. p.291.
- [20] *ibid.* p.295
- [21] Rowling, J. K. (2007) *Harry Potter and the Deathly Hallows*, New York: Arthur A. Levine Books. p.225.
- [22] 高橋作太郎・笠原守・東信行(編) (2012) 『リーダーズ英和辞典』 第3版 研究社, p. 2671。
- [23] 小西友七・安井稔・國廣哲彌・堀内克明(編) (1994) 『小学館ランダムハウス英和大辞典』 第二版 小学館, p.3109。
- [24] Macmillan English Dictionary. (2007) 2<sup>nd</sup> ed, Oxford: Macmillian Education. p.719.
- [25] Longman Dictionary of Contemporary English. (2012) 5<sup>th</sup> ed, Essex: Pearson. p.2002.
- [26] The American Heritage Dictionary of Idioms. (2013) Boston: Houghton Mifflin Harcourt. p. 188.
- [27] Cambridge Dictionary of American Idioms. (2010) 5<sup>th</sup> ed, Cambridge: Cambridge University Press. p.187.
- [28] Hotten, J.C.(1870) *The Slang Dictionary*;

*Or, The Vulgar Words, Street Phrases, and "fast" Expressions of High and Low Society, Many with Their Etymology and a Few with The History Traced*, London: John Camden Hotten, Picadilly. p155.

- [29] 小西友七・安井稔・國廣哲彌・堀内克明(編) (1994) 『小学館ランダムハウス英和大辞典』 第二版 小学館, p.3109。
- [30] Jones, Ramona. (2006) *From Tongue, to Ear, to Heart: So Says the Wise*, Raleigh, NC: Lulu.com. p.178.
- [31] White Song Eagle (2008) *Teluke: A Big Foot Account of Interaction with an Older Race of Spiritual Beings*, Bloomington, IN: Author House. p.71.
- [32] Pinter, Harold. (1991) *The Homecoming*, Croydon, UK: CPI Group (UK) Ltd. p.111.
- [33] ピンター, ハロルド(1977) 喜志哲雄・小田島雄志・沼澤治治 訳「帰郷」『ハロルド・ピンター全集 2』新潮社, p.258。
- [34] Crocket, Davy. (1833) *The Life and Adventures of Colonel David Crocket*, Cincinnati: Published for the Proprietor. p.35.
- [35] Partridge, Eric. (2006) *A Dictionary of Unconventional English*: Routledge, p.21
- [36] Google Books Ngram Viewer  
 <<https://books.google.com/ngrams/info>>  
 (Accessed on July 14<sup>th</sup>, 2015)
- [37] Pastor, Tony. (1862) *Tony Pastor's Comic Songster*, New York: Dick & Fitzgerald Publishers. p.27.
- [38] Dickens, Charles. (2000) *The Life and Adventures of Nicholas Nickleby*, Hertfordshire: Wordsworth Editions Limited. p.22.
- [39] Ammer, Christine. (2013) *The American Heritage Dictionary of Idioms*, Boston: Houghton Mifflin Harcourt. n.pag.

資料 (青線は全て米国を, 赤線は英国のグラフ線を表す。)

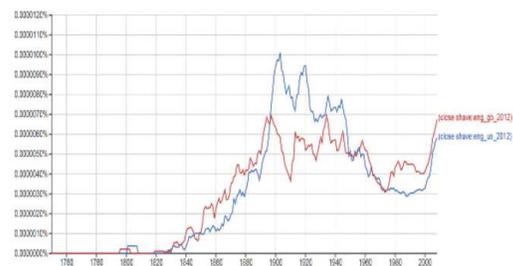
② chicken out



③ get a move on



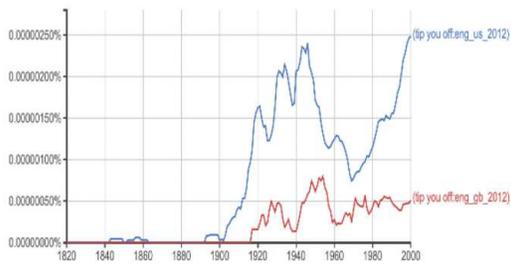
④ close shave



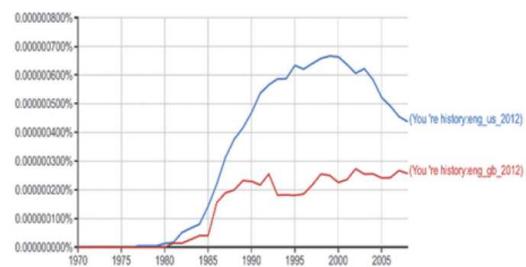
⑤ close call



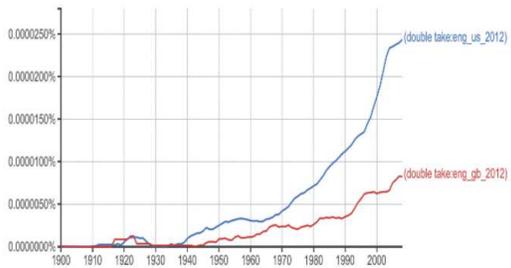
## ⑥ tip (you) off



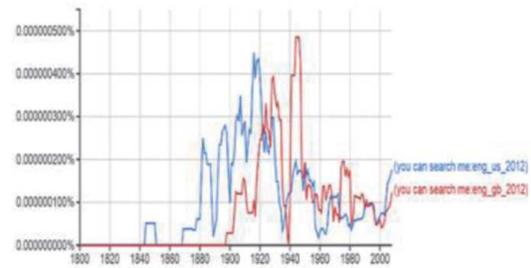
## ⑫ You're history



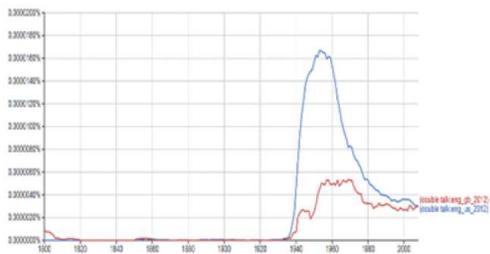
## ⑧ double take



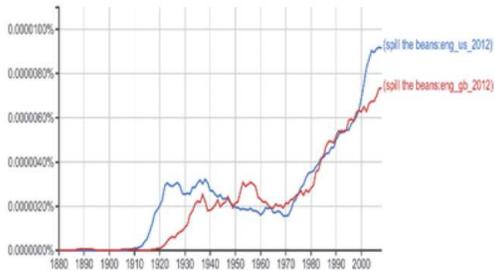
## ⑬ you can search me



## ⑨ double talk



## ⑪ spill the beans



## 〈論 文〉

## How Japanese and Foreign People See Each Other

## A Sociolinguistic Analysis of Common Misperceptions and Why What We See Is Not Necessarily What We Get

日本人と外国人はどのようにお互いを認識するか

お互いの認識のずれはなぜ起こるかを社会言語学的に分析する

Charles McLARTY

## Abstract

When it comes to intercultural encounters, Japanese and foreign people tend to view each other through a distorted lens. The culturally based assumptions each makes about the other are, while understandable, often seriously flawed. This can lead to misunderstandings and frustrating failures of communication. It is not so much the things we don't know about each other that cause major problems. Rather, the problem is in the things we "know" which are not true. The purpose of this article is to discuss several key problem areas, examine their background and origin and suggest solutions as to how we may achieve better intercultural communication.

## 要旨

日本人と外国人が出会う時、お互いに先入観をもって見てしまう傾向がある。そのような文化的な思い込みは、あっても不思議ではないが、誤解の原因になりかねない。最も問題なのは、お互いを知らないことよりも、事実と異なることを「知っている」と信じてしまうことである。本研究の目的は、文化的な誤解のずれが起こりやすい例を検証し、その背景と主な原因をさぐりながら、よりよい異文化間のコミュニケーションへの提案をすることである。

**Key Words:** assumptions, behavior, cultural background, communication, bias

---

情報メディア学部准教授 Associate Professor, Faculty of Information Media

## 1 Do All Caucasian Foreigners in Japan Look Fluent in English?

Several years ago I remember watching a television program on which some famous Japanese comedians, such as Tamori, often appeared. There were also some foreign entertainers, who were very fluent in Japanese. In addition, there were often foreign people in the studio audience. The format of this show allowed for free give and take between the entertainers and the audience. On that particular day Tamori decided to ask a certain foreign member of the audience what he had thought of one of the show's comedy routines. However, the man in the audience could not understand Tamori's question in Japanese. Tamori asked one of the foreign entertainers to translate his question into English for the man. However, when the man was asked the same question in English, he still did not respond. Although the question was rephrased in English for him several times, he was unable to answer. A strange hush filled the studio as the Japanese entertainers and audience couldn't figure out what the problem was. Finally the man, speaking in broken English, said "I am Italian." The entertainers were dumbstruck. Then Tamori summed up their reaction with the following comment. "When we Japanese people see a foreign person, we just assume that he or she is an English speaker." It seems to this writer that a large number of Japanese people probably share this assumption.

Let me next relate the strange experience of one of my former colleagues. He is also American and a long-time teacher of English in Japan. It happened one night when he went drinking in Sapporo. He entered a Japanese *izakaya* type of

drinking shop and sat down at the counter. By coincidence, another foreign man happened to be sitting right beside his chair. Without thinking, he spoke to the man, offering a greeting in English. Strangely, the man did not respond to this. He tried again, thinking perhaps the man had not heard him above the din of the restaurant crowd. Again, the man gave no response. Just as he was wondering what was going on, the man suddenly answered him in Japanese! "*Gomen nasai. Watashi wa eigo ga dame desu. Nihongo de shaberimasho.*" (Sorry sir. I cannot speak English. Let us talk in Japanese.) My colleague sat there for a moment in stunned silence. After he recovered from the initial shock, he and the man began chatting. When he learned that the man was Russian, it dawned on him what the problem had been. As my colleague is also fluent in spoken Japanese, he and the Russian fellow were able to enjoy an extended chat in Japanese. He said he had really enjoyed this unexpected bit of "cultural exchange" He did say, however, that there was one negative to that experience. When the Japanese customers seated nearby realized that the two foreign men were speaking in Japanese, rather than English, they kept giving my colleague and the Russian the strangest glances.

Obviously, the sight of a Russian and an American chatting in fluent Japanese was so bizarre that, for the Japanese people there, it simply did not sociolinguistically compute. Why? It is likely due to a certain assumption which appears to be widespread among Japanese. That is, Caucasian person=English speaker.

This writer has alluded to a similar encounter with non-English speaking Russians

he had in Otaru ( McLarty, 2014 ). He has also mentioned an incident at an airport in Alaska where his former teacher of Japanese was accosted by Japanese-speaking Europeans ( Akasaka, 1993 ). While these happenings were all very much real and do lend support to my theories about sociolinguistic assumptions, I wondered if events of four, five, eight or ten years ago were still indicative of the actual situation out there in the world. At the suggestion of colleagues, I decided to take a survey to check the attitudes of HIU students to ascertain whether they, too, were making the same sociolinguistic assumptions I had come across in Japanese society as a whole.

### The HIU Sociolinguistic Survey

In the survey students were shown four pictures of people of various nationalities. They were asked to indicate which people in the pictures they thought could speak English and which they thought could speak Japanese. In other words, they were asked to make linguistic judgements about the people based solely on their physical appearance. The pictures were all in black and white and, in fact, were an amalgam of parts of different photos cut and pasted together to look like the subjects were in the same place at the same time. The photos were a mix of shots taken at various parties, events and gatherings. They included some of my friends, relatives and former colleagues. The pictures were copied over several times to deliberately make them fuzzy, thus making it impossible for anyone to discern the identity of the individuals. Each picture showed four people, marked simply as A, B, C and D. Students were given a printed form with just two questions to answer. “Which people in this

picture do you think can speak English?” and “Which people in this picture do you think can speak Japanese?” Students were given an answer sheet and instructed to answer only by check marks. They were told that multiple answers, such as A & C or B & D were okay. They were also informed that “All of the above” or “None of the above” were acceptable as answers. The whole point of this exercise was to determine what linguistic judgements students would make about people if the only information they had was people’s physical appearance.

Picture One was of four Caucasian men with two Russians and two Americans. Person A and Person C were Russian, While B and D were American. Let us take a look what linguistic assumptions our students made about these people. Sixty four freshmen took the survey.

Figure 1- First Year Student Results

<u>Which of these people do you think can speak English?</u>	
All of the Above	33%
Persons A,C and D	25%
Person D Only	12%
Persons A, B and C	12%
Person A Only	4%
Persons B and D	3%
Persons B and C	3%
Persons C and D	2%
Person B Only	2%
Persons A & D	2%
None of the Above	2%

Since fully 33% of the freshmen answered ‘All of the Above’ it indicates that around 1 in 3 of our first year students think that most Caucasian-looking people probably speak English. In fact, the two Russians in that photo

( A and C ) are sailors. While I don't know either of them personally, it is more than reasonable to presume that they probably have only a smattering of English. Based on my contacts with Russian sailors in Hokkaido to date, that is a fair conjecture. The important point, though, is that 33% of HIU freshmen who took this survey made a judgement that these two men "looked fluent" in English every bit as much as the two Americans in the picture. Of course, what first year students assume to be true may not be indicative of all HIU students. In order to check out this possibility I also administered the same survey to my two classes of second year students. There were a total of seventy two sophomores in this group.

Figure 2 2<sup>nd</sup> Year Student Results

Which of these people do you think can speak English?

<u>Persons A, C and D</u>	<u>30%</u>
<u>All of the Above</u>	<u>27%</u>
<u>Person D Only</u>	<u>10%</u>
<u>Person C Only</u>	<u>7%</u>
<u>Persons A &amp; C</u>	<u>6%</u>
<u>Persons B &amp; C</u>	<u>5%</u>
<u>Persons A &amp; D</u>	<u>4%</u>
<u>Person B Only</u>	<u>3%</u>
<u>Person A Only</u>	<u>2%</u>
<u>Persons A, B &amp; D</u>	<u>2%</u>
<u>Persons A, B &amp; D</u>	<u>2%</u>
<u>None of the Above</u>	<u>2%</u>

A cursory look at Figure 2 makes it clear that our sophomores have made linguistic judgements about Picture One that do differ from the freshmen significantly. Whether their judgements are more sophisticated or not, I will leave for readers to decide. However, the fact that the largest number of their positive responses was for A, C and D rather than 'All of

the Above' indicates that their opinions might be slightly more nuanced than our 1<sup>st</sup> year students. In fact, the best answer would have been B and D, as these were both American men. Interestingly, 3% of the freshmen did choose B and D while not even one of the second year students opted for B and D. Perhaps we should give credit to all students who gave answers besides 'All of the Above' because this is a possible indication that those students are aware that not all Caucasian-looking people necessarily speak English. If we can reasonably interpret the data in this way then perhaps this survey shows, among other things, that sociolinguistic attitudes of young Japanese ( and Japanese people, in general, we could infer ) are in flux. The linguistic assumptions of Japanese in their twenties is not that of those in their forties or fifties. Regardless of what my students thought of this survey, it is fair to say that their responses have provided a great deal of food for thought. The assumptions made by people of Tamori's generation are greatly changing. The old assumption of Caucasian = English speaker may become outmoded. If that is the case then surveys such as this do actually have a valid purpose. Certainly, this writer would like to believe so.

In the next segment of this report I will deal with student responses to Picture Two of this survey. Picture Two also shows four people. In this picture, however, all the subjects are Orientals, that is all of them are Asian-looking. Person A is Taiwanese, B and D are Korean and C is the only Japanese. Let us move on to the next stage of our discussion.

## 2 Do All Oriental People Look Fluent in Japanese?

One Japanese linguistic scholar has written that, for Japanese people, language and physical appearance are quite directly related. Japanese speech is expected to come from the lips of people with Japanese-looking faces ( Akasaka, 1993 ). Conversely, people with Caucasian-looking faces are not expected to speak Japanese. Interestingly enough, he goes on to state that Japanese people seem not to think there is anything strange if Chinese, Koreans or other Asians speak Japanese. In fact, many Japanese appear to think it quite natural that other Asians can speak their language. Another Japanese linguistics specialist says that, from the Japanese perspective, Caucasians never look like they know Japanese ( even if some individual ones are actually fluent ), but other Asians “look fluent” in Japanese even if they actually can hardly speak a word of Nihongo ( Suzuki, 1978 ).

One well-known American scholar of Japan reported having a very strange experience in this connection. As he was a lover of Japanese *onsen* ( hot springs ) he went there one weekend with a Japanese-American girlfriend. He says that the manager of the hot spring was very kind when they stayed there overnight. Unfortunately, it seems that there was one problem. As a scholar of Japan, the American fellow was fluent in Japanese, but his girlfriend, born and raised in the U.S., could not speak Japanese at all. This made for some communication difficulties with the manager. Whenever the scholar asked the manager something in his fluent Japanese, the manager would turn to the non-Japanese speaking

woman when answering. Of course, the woman could not understand the manager’s answers so she always looked to the scholar for a translation. The frustrated scholar finally figured out a way to make the manager realize his ability in Japanese. He sat down and wrote a series of difficult kanji in front of the manager. At last, the manager realized his Japanese ability. Clearly, the manager had assumed that the Japanese-looking woman understood spoken Japanese while thinking that it was the Caucasian man who would need a translation. In other words, She “looked fluent” in Japanese. He did not ( Seward, 1981 ).

The foregoing episode might sound unbelievable to many foreign readers, but one of my former colleagues, a Japanese-American woman from Hawaii, told me she had had similar experiences while living in Japan. Her parents had always spoken English at home and she had taken only a few Japanese language classes before coming to Japan. In her first year or so in Japan, she could hardly speak the natives’ tongue. This led to some strange episodes. For example, whenever she went shopping, the Japanese saleswomen would speak to her in Japanese ( naturally ) since she looked physically no different from the other shoppers. But since she couldn’t understand, she tried telling them she was a foreigner by saying, “*Watashi wa gaijin desu. Nihongo wo wakarimasen.*” ( I’m a foreigner. I can’t understand Japanese. ) The saleswomen, of course, couldn’t ( or wouldn’t ) believe her at all. Also, when she read American newspapers while riding the bus, Japanese women sitting nearby often said to her, “*Eiji shimibun wo yomeru ne. Subarashii desu ne.*” ( Wow! That’s wonderful that you can read newspapers

in English! ) It pretty much goes without saying that a Caucasian person would not likely have had these types of experiences.

If many Japanese people have held the assumption that Caucasian person=English speaker, it follows that many might also hold the belief that Oriental person=Japanese speaker. In order to test this hypothesis, I included such a question in the Student Survey. In the following section let us see to what extent, if at all, HIU students hold the same type of linguistic assumptions.

Figure 3 First Year Student Results

Which of these people do you think speaks Japanese?

<u>Person D Only</u>	<u>36%</u>
<u>Persons A and D</u>	<u>21%</u>
<u>Persons B and D</u>	<u>14%</u>
<u>Persons Cand D</u>	<u>14%</u>
<u>Person C Only</u>	<u>6%</u>
<u>Person A Only</u>	<u>5%</u>
<u>Persons A and C</u>	<u>2%</u>
<u>Persons A, B and C</u>	<u>1%</u>
<u>Persons A, B and D</u>	<u>1%</u>

The data clearly shows that the largest number of students thought D was the only person in the picture who was likely to be a speaker of Japanese. In fact, D was a Korean man in his thirties. Perhaps he “looked Japanese” to some of our students. The second most frequent answer was A and D. In point of fact, A was a Taiwanese man in his twenties. The best answer would have been ‘Person C Only’ because that gentleman was the only Japanese person in the picture. Thus, we can safely say ( I believe ) that he is the only one of the four people shown who speaks Japanese. Admittedly, we cannot completely deny the

possibility that the Taiwanese man, the Korean man or the Korean woman may have somewhere actually studied the Japanese language. However, judging by the numerous non-Japanese Asian people I have known up to now, it is fair to say that that possibility is relatively remote.

One interesting result to note here is that only 6% of first year students answered ‘C Only’ From this we could even draw the conclusion that at least 94% of these students could not pick out correctly which person pictured was Japanese. If that is the case, it is reassuring to this American, who has never found a reliable way to physically distinguish Japanese people from other Asians. True, being able to physically distinguish Japanese from other Asians is not likely to be a skill our students will need in their future working lives. The reason I have pointed it out is that several of my Japanese educational colleagues have claimed they have this ability, despite my consistent skepticism. Whether these particular colleagues know something I don’t is not clear. Let us, however, leave this discussion for exploration in a future article.

Figure 4 Second Year Student Results

Which of these people do you think speaks Japanese?

<u>Person D Only</u>	<u>39%</u>
<u>Persons C and D</u>	<u>21%</u>
<u>Persons A, C and D</u>	<u>12%</u>
<u>Persons A and D</u>	<u>12%</u>
<u>Person C Only</u>	<u>11%</u>
<u>Person B Only</u>	<u>3%</u>
<u>Persons A and C</u>	<u>1%</u>
<u>Persons B and D</u>	<u>1%</u>
<u>None of the Above</u>	<u>0%</u>
<u>All of the Above</u>	<u>0%</u>

When comparing the results of our freshmen with those of our sophomores, there are several figures which might be significant.

Firstly, more of the second year students chose 'D Only' than the first year students, by 39% to 36%. Also, fewer freshmen than sophomores opted for 'C and D' by 14% to 21%. Perhaps, though, the most interesting difference was that, while only 6% of freshmen answered 'C Only' 11% of the sophomores chose that response. As I have noted on the previous page, Person C was the only Japanese in the picture. This leads us to the possible conclusion that our second year students might have better abilities at figuring out who in the picture is Japanese and who is not. Overall, though, I think we should give credit to both our 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> year students for the fact that, on this question, not a single one opted for either 'None of the Above' or 'All of the Above'. This indicates a degree of nuanced judgement, at least in the sense that many of them showed an awareness that one or several people in the picture might not be Japanese ( or Japanese speakers ) That said, it is time to move on to the next phase of this report.

### 3 When Japanese People Walk With Foreigners Do They Look Fluent in English?

Some years ago when I was teaching part-time at a different university, I had a peculiar experience which, I believe, has a bearing on language issues pertaining to this report. At that time I was living at the same apartment complex as several of the students who I knew from that school. As we were living at the same place there were many chances to chat informally and, not surprisingly, we got to know each other quite well. In fact,

we often walked either to school or home from school together. One day one of the Japanese students seemed to be all smiles as he walked home with me. He commented, "Walking with McLarty-sensei is really fun!" He seemed so happy about walking with me that I asked him why. What he said next gave me some food for thought. He replied, "It's because when I walk with you I look to other Japanese as though I can speak English." The look of disbelief on my face must have been funny because the other students nearby burst into laughter at this. Still feeling skeptical about his comment, I asked the students nearby one by one the following question: "When he walks with me, does he really look like he is fluent in English?" To my astonishment, every one of them nodded and answered, "Yes, he does." All I could do was scratch my head like someone who is in a quandary. Come to think of it, however, the strangest part of that episode was thinking about the young man who said he looked fluent in English when walking with me. In fact, he and I had never once spoken English! We always spoke in Japanese when walking home.

Recently, I had occasion to recall that incident. It seemed to contain an important element of linguistic truth. Thus, I decided to ask some Japanese friends in Sapporo if they agreed with that young man's opinion. Every one of them agreed with him. On a whim or, perhaps, out of a desire to test out one of my theories, I decided to ask the same friends just the opposite question. That is, when I walk with a Japanese person, do I look like I am fluent in Japanese? Not surprisingly, they all had the same opinion. What surprised me, though, was that they all said, "No, you don't look fluent in Japanese

when you walk with a Japanese person.” In other words, when a Japanese person walks with me, he or she looks like an English speaker, but even when I walk with a Japanese individual, I don’t look a fluent Japanese speaker. Why, I wondered, should this be? The fact that I don’t “look fluent in Japanese” to Japanese people even when walking with a Japanese person or associating with Japanese people may be connected to linguistic attitudes pointed out by one famous American scholar of things Japanese. He writes, “For many Japanese, the sight of a Caucasian person speaking their tongue fluently is nothing less than miraculous ( Taylor, 1983 ). Since I have included this issue in the student survey, readers will have an opportunity to judge whether or not this type of linguistic attitude is prevalent among students of HIU.

In Picture Three there were two Americans and two Japanese shown. The Americans were A and B, while the Japanese were C and D. B was a former colleague of mine, a veteran English teacher in Japan, who is fluent in Japanese. A was his mother, who is a monolingual English speaker. C and D were two Japanese teachers of English at a school I once taught at. Let us have a look at student responses to this picture.

Figure 5 1<sup>st</sup> year Student Results

<u>Which of these people do you think speaks Japanese?</u>	
<u>Persons C and D</u>	<u>56%</u>
<u>Person D Only</u>	<u>26%</u>
<u>Person C Only</u>	<u>13%</u>
<u>Person B Only</u>	<u>2%</u>
<u>Person A Only</u>	<u>2%</u>
<u>Persons B, C and D</u>	<u>1%</u>

Of our freshmen, a majority of 56% said

that only the two Asians, C and D, were Japanese speakers. Over one fourth of the students also thought that just D, the woman who is actually Japanese, could speak Japanese. The best answer would have been B, C and D since the two Asians are both Japanese and B, the American, is actually fluent in Japanese. Only a mere 2% of frosh thought that A, the American lady, could be a Japanese speaker. Also, a mere 1% got the best answer, B, C and D. In essence, over half of first year students judged that only the Asians, and not either of the white people, were speakers of Japanese. This would appear to bear out the opinion of our previously mentioned scholar, Mr. Taylor. Before criticizing all of our students, however, let us look at the responses of the sophomores.

Figure 6 2<sup>nd</sup> year Student Results

<u>Which of these people do you think speaks Japanese?</u>	
<u>Persons C and D</u>	<u>57%</u>
<u>Person D Only</u>	<u>24%</u>
<u>Person C Only</u>	<u>15%</u>
<u>Person A Only</u>	<u>1%</u>
<u>Persons B and D</u>	<u>1%</u>
<u>Persons B and C</u>	<u>1%</u>
<u>Persons B, C and D</u>	<u>1%</u>

Concerning Picture Three, our 2<sup>nd</sup> year student results bear a strong similarity to the results of the freshmen. Sophomores who felt that only the Asians could be Japanese speakers added up to a combined 81% of the total. Only 1% thought that the American lady could be a Japanese speaker. Another 3% answered that both Asians and non-Asians could possibly be Japanese speakers. Obviously in the eyes of most of our students, the white people in Picture Three did not “look fluent” in Japanese. Does it follow, then, that the two Asians in the

picture “looked fluent” in English because they were with Caucasian people? In order to check on this, students were asked the opposite question also about the picture. Let us examine those results below.

Figure 7 1<sup>st</sup> Year Student Results

Which of these people do you think speaks English?	
Persons A and B	58%
Person B Only	20%
Persons A, B and C	6%
Person D Only	4%
Persons A, B and D	4%
Persons B and C	3%
Persons C and D	3%
Person A Only	2%

Once again, the great majority of our frosh thought that the white people were the English speakers, just as they had felt that the Asians were the Japanese speakers. 58% of first year students said that just A and B, the two Americans, were English speakers. Interestingly, though, only 3% of freshmen judged that C and D, the two Japanese, would be English speakers. Evidently, being with Caucasians did not make these Japanese “look fluent” in English. The fascinating part here is that, in fact, both C and D were English teachers! Also notable was that 20% of freshmen said that only B, and not A, looked like an English speaker. In fact, the lady in A, an American, speaks only English. Certainly, in this section there were some quite surprising results. 6% felt that C, a Japanese, looked like an English speaker as much as A and B. This 6% of students did not think that D, who was an actual English teacher, looked like she was an English speaker. Let us check the results of the sophomores regarding the same picture

Figure 8 2<sup>nd</sup> Year Student Results

Which of these people do you think speaks English?	
Persons A and B	56%
Person B Only	14%
Person A Only	9%
Persons A, B and C	5%
Persons A, B and D	5%
Person C Only	4%
Person D Only	3%
Persons A, C and D	3%
Persons B and D	1%

Like the first year students, over 50% of the sophomores judged that just the two Caucasians were likely to be English speakers. Significantly, none of the second year students thought that the two Asians, C and D, were both English speakers. Similar to the freshmen, sophomores picked B, the American man, as the only fluent English speaker, though by less of a percentage at 14% to 20% among frosh. Unlike the freshmen, however, a sizable number of second year students thought that A, the American lady, was the sole English speaker. 9% of sophomores thought so as opposed to only 2% of the first year students.

There was a Picture Four in the survey, although that chart is unavailable. The results of both frosh and sophomores were almost identical to those for Picture Three. Person A was a Korean, B was an American, C was a biracial child and D was a Chinese man.

Over half of both frosh and sophomores thought that only the American was the English speaker, though one quarter of students thought the biracial kid was also a fluent English speaker.

#### 4 Do Foreigners in Japan Always Long to Return to Their Homelands?

Since coming to Japan, the questions I have been asked by Japanese people most often are, “Don’t you want to return to your homeland?” and “Don’t you get homesick for your own country?” To be honest, however, I cannot recall ever feeling that way. Certainly, there were stressful periods, especially those first several years when this writer was still learning the ins and outs of daily life in a Japanese city. Also, there were numerous misunderstandings due to cultural differences which contributed to significant levels of frustration. Even now, I cannot say that I perfectly “blend in” socially.

However, I have not once felt that life in a foreign country was unbearable or that I was so homesick for the U.S. that I just wanted to go back home. In addition, most of my non-Japanese friends with long residence in this country seem to feel the same way. Although I remember one female American colleague who got homesick ( and returned to the U.S. after one year ), there were a number of others who said they wanted to stay in Japan longer! More than a few times I have heard the following story from resident foreign people: He or she came to Japan, planning to stay for one year or so, but became fascinated with some aspect of Japan and ended up staying three years, a number of years, even twenty years and becoming permanent residents, getting married to Japanese and, in one case, becoming a city council member of his town of residence ( McLarty, 1999 ).

The most important point here, however, is not McLarty’s personal experience, but rather why

Japanese people ask the above questions so often. It quite likely stems from the feeling among many Japanese that living overseas for an extended period of time is simply unimaginable. Historically, it can be fairly said that Japanese have shown a greater reluctance to leave their own shores than Americans or Europeans. Particularly significant, I believe, is the fact that Japan had a 200-year period of isolation called the *sakoku jidai* ( closed country period ). While the number of Japanese tourists heading abroad has increased considerably in recent years, actually living abroad seems to present special challenges for people of this country. One American researcher of Japan has made interesting comments to this end. He writes that, no matter how bad the political situation in Japan gets, Japanese are a people basically incapable of defecting abroad. In his amusing phrase Japanese are “mentally glued” to the shores of their country ( Horvath, 1976 ). He adds that, no matter what happens in Japan domestically, staying put and doing one’s best at home is better than avoiding problems by living abroad. He says that many Japanese appear to feel that going to live overseas is, in effect, tantamount to abandoning Japan.

Even when it is not a matter of defection, living abroad seems to be particularly difficult for Japanese people. Nowadays, it seems there is hardly any region or country of the globe where at least some Japanese are not living. Recently, one popular Japanese television’s theme is searching remote parts of the world for Japanese and interviewing them to see what exotic lives they are living. Those Japanese abroad who have appeared on this program are mostly doing well by all reports. However,

there are also a considerable number of Japanese living abroad who have not been handling foreign life so well.

According to one Japanese who researches his countrymen abroad, the number of Japanese who cannot adjust to life in foreign nations is quite large. He writes that living abroad requires that a person have a strong character and a solid sense of his or her own identity. Unfortunately, he notes, a considerable number of Japanese seem to lack these characteristics. While many of us veteran Japan hands agree that Japanese people usually excel in group endeavors, we are all too aware of the reverse side of the coin. The above researcher, a psychologist and author of numerous books on mental disorders, says that many Japanese are relatively lacking in their ability to act on their own initiative compared to Europeans or Americans. He points out that many Japanese, when faced with the prospect of living abroad, fall into a condition called "inability to adapt to foreign living circumstances" as he puts it (Inamura, 1980).

When we consider this background information on Japanese attitudes toward living overseas, some pieces of the puzzle start to fall into place. For those who feel living abroad is unpleasant, scary or simply unimaginable, asking non-Japanese people questions like, "Don't you get homesick overseas?" or "Don't you want to return to your own country?" is hardly a surprising thing to do. In fact, from a Japanese perspective, it may be perfectly natural. As I have also stated in a previous paper, if our positions were reversed, I would likely ask Japanese people the same sort of questions (McLarty, 1997).

## Conclusions

This report has dealt with four topics related to intercultural communication between Japanese and non-Japanese people. I have selected these particular topics because I believe they are very indicative of the differences in sensibility which often bedevil our attempts to better understand each other. No matter which country we hail from, we can never completely avoid seeing people of other nations through the prism of our own cultural background and its norms. The important thing is to be aware of our own cultural biases and try to become as knowledgeable about other cultures and societies as we possibly can.

That I have my own unique bias is, by now, probably obvious to all of the readers. While I have tried to present as balanced a report as possible, there is little doubt that my preferences have managed to seep into this account. Readers would be doing this writer a favor if they would point out some areas in which this article has room for improvement. Whatever my own shortcomings as a scholar, however, I believe that one of my main objectives has been achieved. By starting a discussion of these topics, the field is now open for other scholars, researchers and laymen to debate where we are in intercultural communication today, where we are headed tomorrow and what areas we need to focus on in the future. The livelier the discussion becomes, the more all of us, whatever our nationality, can become communication winners. That is all I could possibly hope for.

## References

- Akasaka, K. ( 1993 ). 日本人の言語コミュニケーション : [ The Linguistic Communication of Japanese People ] in 日本人のコミュニケーション [ The Communication of Japanese People ] M. Hashimoto and S. Ishii ( Eds. ), Tokyo: Kirihara Shoten.
- Horvath, A. ( 1976 ). それでもわたしは日本人になりたい。 [ In Spite Of All, I Still Want To Become a Japanese ]. Tokyo: Nisshin Hodo Shuppanbu.
- Inamura, H. ( 1980 ). 日本人の海外不適應。 [ Japanese People's Inability to Adjust to Life Abroad ]. Tokyo: NHK Books.
- McLarty, C. ( 2014 ). Through The Sociolinguistic Looking Glass: Common Japanese Assumptions Concerning Foreign Behavior-Empirical Studies of the Globalization of Modern Japanese Lifestyles. *Memoirs of Hokkaido Information University*, 26-1, pp. 77-85.
- McLarty, C. ( 1997 ). On Internationalism, Hokkaido and Japan. Presentation for The Communication Association of Japan ( CAJ ) Hokkaido Branch Conference, held in Sapporo.
- Seward, J. ( 1981 ). *America and Japan-The Twain Meet*. Tokyo: The Lotus Press.
- Suzuki, T. ( 1978 ). *Japanese And The Japanese-Words In Culture*. Tokyo, New York and San Francisco: Kodansha International LTD.
- Suzuki, T. ( 1987 ). *Tozasareta Gengo*, *Nihongo no Sekai*. Tokyo: Shinsho Sensho.
- Suzuki, T. ( 1978 ). *Kotoba no Ningengaku*. Tokyo: Shinsho Bunko.
- Taylor, J. ( 1983 ). *Shadows Of The Rising Sun*. Tokyo: Charles E. Tuttle Co. Incorporated.
- Trudgill, P. ( 1974 ). *Sociolinguistics: An Introduction to Language and Society*. London, England: Penguin Books Ltd.

## 〈研究ノート〉

## 位置情報に基づく背景音楽を伴う

## 音声観光案内システムの開発

長尾光悦\* 吉野美優†

Development of Position-based Voice Tourist Guide System  
with Background Music

Mitsuyoshi NAGAO\* Miyu YOSHINO†

## 要旨

本論文では、位置情報に基づく背景音楽を伴う音声観光案内システムを提案する。提案システムは、音声による観光案内の提供を行うのみではなく、その観光地に適合した背景音楽も合わせて提供する。本システムは、Android用のアプリケーション、及び、情報配信用サーバから構成されており、スマートフォンから送信される位置情報を基に、サーバに登録された各観光地用の楽曲と音声による観光案内が提供される。更に、提案システムのプロトタイプを構築し、被験者を用いた評価実験を行う。評価実験の結果からシステムの有効性を検討する。

## Abstract

In this paper, we propose a position-based voice tourist guide system with background music. Our proposed system provides a voice tourist guide with suitable background music for each sightseeing area. Our system consists of a server and an android application. A voice tourist guide with background music which is registered in the server is provided on the basis of current location which is measured in android application. We construct a prototype system and perform an evaluation experiment with some subjects. From the experimental results, we confirm the effectiveness of proposed system.

## キーワード

背景音楽 音声観光案内 GPS Android アプリ

\* 北海道情報大学経営情報学部システム情報学科准教授, Associate Professor, Department of Systems and Informatics, HIU

† 北海道情報大学経営情報学部システム情報学科4年, B4, Department of Systems and Informatics, HIU

## 1. はじめに

近年、スマートフォンだけではなくデジタルカメラや腕時計など多種多様なデバイスにGPSが装備されており、位置情報を利用した多くのソフトウェアやアプリケーションが開発されている。観光分野においても、位置情報は重要な情報であり、これを利用した観光情報の提供システムが数多く提案されている。

例えば、今村らは、高野山の町石道のための案内システムを提案している。高野山町石道は、弘法大師が高野山を開山して以来の信仰の道であり、ユネスコの世界遺産にも登録されている。町石道には、高野山までの道標として、町石と呼ばれる石柱が建てられている。町石には、ひとつひとつに由来があるため、提案システムは、スマートフォンのGPSにより位置を測位し、各町石付近に利用者が接近すると、その由来を音声により解説する[1]。また、鈴木らは、古写真アーカイブを用いたナビゲーションシステムを提案している。このシステムは、旅行者に函館の魅力を提供するためのものであり、予め登録された地点において、その場所の古写真デジタルアーカイブが表示されるものである[2]。

一方、近年、心理学やビジネス分野などにおいて音楽の効果に関する研究が盛んに行われている。例えば、内藤による研究では、音楽聴取後の感情変化について調査しており、テンポの遅い曲によって活動的な感情が減退するといった感情誘導効果を確認している[3]。また、堀中らは、飲食店内のBGMの効果に関する研究を実施しており、同じ飲食店内の映像に対して、背景音楽の有無によりイメージが変化するかを検証している。検証結果から、明るい音楽を聴くことにより、その場に対するイメージが明るくなるといったイメージ誘導効果を

確認している[4]。

このように音楽を利用することにより、人間の感情を誘導し、対象に対して効果的なイメージ付けができることが報告されているものの、これを観光分野において活用した研究事例は殆ど見当たらない。

本研究では、位置情報に基づく背景音楽を伴う音声観光案内システムを提案する。ここでは、単なる音声による観光案内の提供を行うのではなく、背景音楽が持つイメージ誘導効果や感情誘導効果を利用し、観光地を演出することが可能な観光案内を提供するシステムを実現する。

本システムは、Android用のアプリケーション、及び、情報配信用サーバから構成されており、スマートフォンから送信される位置情報を基に、サーバに登録された各観光地に対応する楽曲と音声による観光案内が提供される。また、提案システムのプロトタイプを構築し、被験者を用いた評価実験を行う。評価実験は、札幌市内において複数の観光地を設定し、被験者に提案システムを利用した観光を実施させる。観光実施後、被験者にアンケート調査を行うことにより、システムの有効性を検討する。

## 2. 位置情報に基づく背景音楽を伴う音声観光案内システム

### 2-1 システム概要

提案システムの構成を図1に示す。図に示されるように提案システムは、情報提供サーバと情報受信用Androidアプリの二つから構成される。情報提供サーバは、観光地情報の入力、データベース登録のためのデータ変換、登録観光地情報の提供を行う。また、提供受信用Androidアプリは、GPSに基づく位置測位、観光地への進入判定、音声・音楽による観光案内の提供を行う。

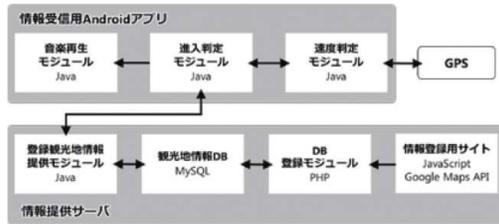


図1 システム構成図

システムを利用する際、管理者は、情報提供サーバにおいて、観光地名、観光地の案内文、観光地に対応した楽曲などの情報を登録する。利用者は、Android 端末において、アプリを起動した後、イヤホンを装着し、街歩き観光を行う。利用者が指定された観光地エリア内に入ると、対応する楽曲、及び、観光案内が音声情報として提供される。

以下、情報提供サーバ、及び、情報受信用アプリの詳細について記述する。

## 2-2 情報提供サーバ

図1に示されるように、情報提供サーバは、情報登録用サイト、DB登録モジュール、観光地情報DB、登録観光地情報提供モジュールから成る。観光地情報を登録する場合、図2に示される情報登録用サイトにおいて、必要情報の入力を実施する。サイトの左側にはGoogle Mapが表示されており、マップ上をクリックすることによって観光地のエリア情報を登録する。登録エリアは多角形に対応しており、様々な観光地の形状を登録可能となっている。

更に、サイト右側において、観光地の詳細情報を登録する。ここでは、観光地名、観光地のふりがな、観光地の説明文、楽曲名、アーティスト名、楽曲ファイルの登録を行う。観光地の説明文は、音声ファイルへ変換する制約から観光地名と説明文を合わせて200文字以内としている。また、楽曲ファイルは、mp3形式のファイルを指定し、登録を行う。

入力されたデータは、DB登録モジュールへ送信される。ここでは、登録情報の変換が



図2 観光情報登録サイト

行われる。入力された観光地名と観光地の説明文をVoice Text Web APIを利用し、音声ファイルに変換する。Voice Text Web APIはHOYAサービス株式会社が提供するテキスト読み上げソフトウェアであるVoice Textを、インターネットを通して利用可能とするためのWebサービスである。Voice Text Web APIでは、表1に示されるパラメータを送信することにより、合成音声ファイルを取得することができる。

Voice Text Web APIにより観光案内音声ファイルを取得後、楽曲ファイルとの合成を実施する。合成は、LinuxにおけるSoXコマンドを利用する。Soxコマンドは、音声ファイルの加工・変換を行うためのコマンドである。ここでは、楽曲が流れ始めてから30秒経過後に、観光案内が流れるように合成する。

また、Google Map上で入力された観光エリア情報は、緯度経度情報に変換され、加えて、進入判定のために、最大、及び、最小の緯度経度情報が別途保存される。これらの変換された情報が観光地情報DBに登録される。

登録観光地情報提供モジュールにおいては、観光地情報DBに登録された緯度経度情報に基づき、観光地エリア内であるか否かの判定情報の送信が行われる。また、アプリからの要求に応じて観光地情報の音声ファイルを送信する。

表 1 送信パラメータ

パラメータ	説明
text	UTF-8 で合成するテキストを指定
speaker	話者名を指定
format	音声ファイルフォーマットを指定
emotion	喜怒哀の感情カテゴリを指定
emotion_level	感情レベルを 1 から 4 の数値で指定
pitch	音の高低を 50 から 200% の数値で指定
speed	話す速度を 50 から 400% の数値で指定
volume	音量を 50 から 200% までの数値で指定

### 2-3 情報受信用 Android アプリ

情報受信用 Android アプリは、速度判定モジュール、進入判定モジュール、音楽再生モジュールから成る。アプリでは、スマートフォンに内蔵された GPS に基づき位置情報の取得が行われる。本アプリでは、2 秒毎に位置測位が行われる。取得された位置情報は、速度判定モジュールに送信される。

近年のスマートフォン内蔵の GPS は、高精度の位置測位が可能である。しかしながら、気象状況や、周辺の建築物などにより測位誤差は避けられない。このため、速度判定モジュールでは、測位された位置情報に基づき移動速度を算出する。ここでは、速度算出のための 2 地点間の距離計算に、ヒュベニの距離計算式を採用する。

$$D = \sqrt{(M \times dP)^2 + (N \cos(P) \times dR)^2}$$

$$M = \frac{6334834}{\sqrt{(1 - 0.006674 \times (\sin(P))^2)^3}}$$

$$N = \frac{6377397}{\sqrt{1 - 0.006674 \times (\sin(P))^2}}$$

$D$ : 2 点間の距離 (m)

$P$ : 2 点の平均緯度

$dP$ : 2 点の緯度差

$dR$ : 2 点の経度差

$M$ : 子午線曲率半径

$N$ : 卯酉線曲率半径

上述の式に基づき算出された距離、及び、時間間隔に基づき移動速度を算出する。本システムは徒歩による観光を想定しているため、2m 毎秒以上の速度で移動したと判定された場合には、測位誤差過多とし、その位置情報を破棄するものとした。

このようにエラーフィルタリングされた緯度経度情報は、進入判定モジュールにおいて、情報提供サーバの登録観光情報提供モジュールに送信される。サーバからは、登録されている観光地エリア内に、受信した位置情報が含まれる場合には、観光地名や楽曲名などの情報がアプリに返信され、受信した位置情報がどの観光地エリアにも含まれない場合には False が返信される。

進入判定モジュールでは、サーバから受信した判定情報を基に、現在位置が観光エリア内か否かの進入判定を行う。ここでは、サーバから送信された判定情報が三回連続で同じ観光エリア内であった場合に、その観光地エリア内に進入したものと判定する。また、一度異なるエリアである、または、どの観光エリアにも進入していないと判定された場合には、カウントは初期化される。これにより、観光エリアの境界上にいる場合や誤差による再生の頻繁な切り替わりを軽減する。

進入判定モジュールにおいて、観光エリア内であると判定された場合、音楽再生モジュールにおいて、登録された背景音楽を伴う観光案内音声データの取得が行われ、ストーリーミングにより観光案内の再生が行われる。

また、本アプリは、基本的に背景音楽と音声のみによる観光案内を行うものである。しかしながら、観光情報を聞き逃した場合や楽曲に関する情報を知りたい場合に備え、観光情報、及び、楽曲情報が画面上に表示される。図 3 に表示される観光情報の例を示す。図 3 における上図が、観光エリア内に存在する場合の画面例であり、下図は、観光エリア外の場合に表示される画面例である。

### 3. 評価実験

#### 3-1 実験方法

提案システムを評価するために被験者を用いた実験を行った。実験は平成 27 年 5 月 15 日に札幌市内において、大学生 5 名の被験者を用いて実施した。

評価実験においては、図 4 に示す観光コースを設定し、被験者に提案システムを利用した観光を実施させた。コースにおいては、「札幌駅」、「北海道庁旧本庁舎（以下、道庁）」、「大通公園」の三箇所を観光地として設定した。

観光終了後、被験者に対してアンケート調査を実施した。アンケートでは、システム全体に関する質問として、「背景音楽があった方が良いと思うか」、「背景音楽が加わることで観光に対する満足度は増えたか」、「音声案内の流れるタイミングはちょうど良かったか」の 3 問、各観光スポットに関する質問として「楽曲が観光スポットのイメージに合っていたか」、「観光案内は観光スポットに合っていたか」、「観光案内の長さは調度良かったか」の 3 問に対して 5 件法に基づき回答させた。

提案システムにおける各観光地のための観光案内情報は、札幌駅については、観光情報提供サイトである MAPPLE 観光ガイドに掲載されている案内、道庁、及び、大通公園については、株式会社実業之日本社が発行するブルーガイドてくてく歩き北海道に記載され



図 3 表示画面例

る案内を基に作成した。

また、各観光地用の背景音楽を設定するため、2015 年 4 月に、北海道情報大学の学生 40 名に対してアンケート調査を実施した。アンケート調査では、春の札幌駅、道庁、大通公園の画像を提示し、それぞれの観光地に合う楽曲を自由記述により回答させた。

アンケート調査の結果、札幌駅では「Train・Train」や「車輪の唄」など駅や列車に関する楽曲、道庁においては「花は桜 君は美しい」、「桜」など花に関する楽曲、大通公園においては、「CHE.R.RY」、「空も飛べるはず」など花や空に関する楽曲が回答された。しかしながら、当初想定していた各観光地において共通して選択される楽曲は見つけられなかった。そのため、回答のあった楽曲の中



図4 実験用観光コース

から、著者らによって適切であると考えられる楽曲を背景音楽として設定した。設定した楽曲は、札幌駅に対しては「桜 color (GReeeeN)」, 道庁に対しては「桜 (コブクロ)」, 大通り公園に対しては「CHE.R.RY (YUI)」を設定した。評価実験の様子を図5に示す。

### 3-2 実験結果

評価実験の結果を表2に示す。表2は、被験者に対して実施したアンケート調査の結果である。各質問は5件法により回答を行ったため、各質問に対して、4から0までの値を割り当てている。「背景音楽があった方がよい」、「音楽が加わることにより観光の満足度は増えたか」の二つの質問においては、「どちらでもない」及び「変わらない」を2として、値が大きいほど好意的、値が小さいほど非好意的な評価を示す。また、「音声案内の流れるタイミングは丁度良かったか」の質問では、2の場合には「丁度良い」を表し、値が大きいほど、「早い」から「とても早い」、値が小さいほど「遅い」から「とても遅い」という評価を表す。更に、各観光地における、

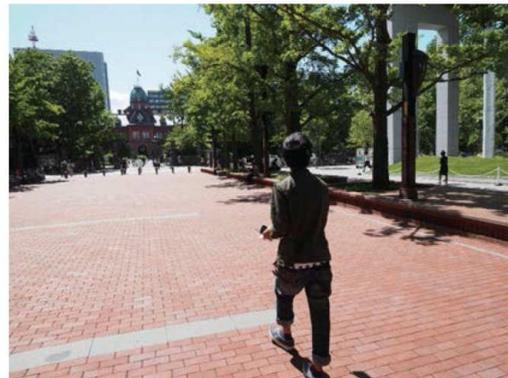


図5 評価実験の様子

「楽曲は観光スポットのイメージに合っていたか」、「観光案内は観光スポットに合っていたか」の質問においては、「どちらでもない」を2とし、値が大きいほど好意的評価、値が小さいほど非好意的評価となる。「観光案内の長さは丁度良かったか」の質問では、2が「丁度良い」を表し、値が大きい場合には「やや短い」から「短い」、値が小さい場合には、「やや長い」から「長い」を表す。表2における評価は、各質問に対する5名の被験者の平均

表 2 アンケート調査結果

質問		評価
背景音楽があった方が良い		3.4
音楽が加わることで観光の満足度が上がったか		3.0
音声案内の流れるタイミングは丁度良いか		2.2
札幌駅	楽曲は観光スポットのイメージ合っていたか	2.6
	観光案内は観光スポットに合っていたか	3
	観光案内の長さは丁度良かったか	1.8
道庁	楽曲は観光スポットのイメージ合っていたか	2.4
	観光案内は観光スポットに合っていたか	3.2
	観光案内の長さは丁度良かったか	2.6
大通公園	楽曲は観光スポットのイメージ合っていたか	3.2
	観光案内は観光スポットに合っていたか	3.4
	観光案内の長さは丁度良かったか	2.0

値である。

実験結果から、背景音楽があった方が良いかという質問に対しては、平均で 3.4 と高い評価を得た。また、音楽が加わることで観光の満足度が上がったかという質問に対しては、3.0 と概ね良好な結果が得られた。これらの結果から、観光案内に対して背景音楽を付与することは観光の満足度を向上させられる可能性があるものと考えられる。また、音声案内が流れるタイミングは丁度良いかという質問に対しては、平均で 2.2 と丁度良いに近く、実験において設定した背景音楽の提供の 30 秒後に観光案内が流れるという設定が適切であったことが示された。

各観光地に対する楽曲の適合性の結果としては、札幌駅は 2.6、道庁は 2.4、大通公園は 3.2 という評価が得られた。札幌駅、及び、大通公園については、概ね良好な結果と考えられるが、道庁については、やや値が低い結果となった。これは、設定した楽曲が実験当日

の場面にマッチしていなかった結果であると考えられる。

更に、観光案内の適切性については、札幌駅が 3、道庁が 3.2、大通公園が 3.4 といずれも高い値を示した。しかしながら、観光案内の長さにおいては、札幌駅が 1.8、道庁が 2.6、大通公園が 2.0 という結果となり、札幌駅が「やや長い」の評価に近く、道庁が「やや短い」の評価に近い値となった。札幌駅の案内文の文字数は 185 文字であり、道庁は 108 文字、大通公園は、160 文字であった。このことから、観光案内の長さとして、文字数は 160 文字程度が適切な長さであると考えられる。

加えて、自由記述の質問の結果として、「環境音にかき消されて聞きづらいときがあった」、「楽曲が全て桜をテーマとしたものだったのでパリエーションが欲しい」、「視覚だけでなく聴覚でも観光を楽しみたいので両耳をイヤホンで塞いでしまうところが残念」、「春をイメージした曲で良かったが、自分の知らない曲があった為、楽しめなかった」といった意見が確認された。これらの意見から、環境音に基づく音量調整、更に、個人の趣味嗜好に合わせた楽曲の提供の機能を実現する必要があると考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、背景音楽が持つイメージ誘導効果や感情誘導効果を利用し、観光地を演出することが可能な観光案内システムの提案を行い、プロトタイプシステムの構築を行った。更に、被験者を利用した提案システムの評価実験を実施した。評価実験においては、被験者数は 5 名と少ないものの、アンケート調査結果から、提案システムにより観光に対する満足度が上昇する可能性が示された。

しかしながら、各観光地に対して適切な背景音楽が利用者により異なるといった問題点も確認され、改善が必要なことが明らかとな

った。

今後の課題としては、個人の趣味試行に合わせた楽曲を提供するためのパーソナライゼーション機能、周辺環境音の取り込みやそれに応じた案内音量調整が挙げられる。

#### 参考文献

- [1] 今村美聡, 吉野孝, 児玉康宏, 吉住千亜紀, 尾久土正巳 (2014) スマートフォンを用いた高野山町石道案内システムの開発, 第 10 回観光情報学会研究発表会講演論文集, pp.17-18.
- [2] 鈴木恵二, 高橋大介 (2006) 古写真アーカイブを用いたナビゲーションシステム, 日本知能情報ファジィ学会第 22 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.749-752.
- [3] 内藤正智 (2006) 音楽聴取後の感情変化についての研究—テンポとメロディと曲に対する好みと感情尺度と癒しに与える影響—, 日本大学大学院総合社会情報研究科紀要, No.7, pp.441-450.
- [4] 堀中康行, 中村敏枝, 岩宮眞一郎 (2007) 飲食店内の BGM の効果—実験室内における検討結果—, 日本心理学会第 71 回大会講演論文集

## 〈報告〉

## LOD(Linked Open Data) による地域情報の発信と活用に関する研究

齋藤 一\* 長尾光悦† 諸岡卓真‡

### A Study of Application of Linked Open Data in Local Community

Hajime Saito\* Mitsuyoshi Nagao† Takuma Morooka‡

#### 要旨

近年、政府や自治体が公共のデータをオープンデータとして公開する等、世界的にオープンデータ化が進んできている。また、政府や自治体に限らず、個人や企業も様々なデータをオープンデータとして公開している。一方、それに合わせて公開されたオープンデータを連携・活用するための技術が必要になってきている。オープンデータを活用する技術として、セマンティック Web とよばれるコンピュータが自律的に情報を処理・利用する技術があり、その技術のひとつに Linked Open Data (LOD) がある。本稿では、平成 26 年度学内共同研究として実施した、LOD による地域情報の発信と活用に関する研究について、報告を行う。本研究では、LOD の利用・活用方法の調査および地域情報の発信を行うために、北海道の蝶のデータと観光スポットのデータを LOD 化した。また、LOD を利用するための環境である SPARQL エンドポイントおよびサーバの構築を行った。更に LOD 間で情報を連携し、関連する情報を取得・表示するアプリケーションの開発を行い、動作確認を行った。

#### キーワード

LOD 観光情報 SPARQL

---

\*情報メディア学部情報メディア学科 准教授, Associate Professor, Department of Information Media, Faculty of Information Media

†経営情報学部システム情報学科准教授, Associate Professor, Dept. of Systems and Informatics

‡経営情報学部先端経営学科准教授, Associate Professor, Dept. of Business and Information Systems

## 1. はじめに

データや文書等の著作権が持つ独占的な権利を緩め、誰もが自由に利用することができ扱いやすい公共財としてデータを増やす「オープンデータ」の運動が世界的に広がっている[1]。オープンデータは単にデータを公開することではなく、二次利用や商用利用が認められた形でのデータ提供を指す。Linked Open Data（以下、LOD）[2][3][4]は、Webの情報を意味的に関連づけて、直接的に関連する情報を迎れるようにする技術である。World Wide Web(WWW)の考案者であるティム・バーナーズ=リーはLODの原則[5]を以下のように定義している。

- ・ あらゆるデータの識別子としてURIを使用する、
- ・ 識別子にはHTTP URIを使用し、参照やアクセスを可能にする、
- ・ URIにアクセスされた際には有用な情報を標準的なフォーマット（RDF等）で提供する、
- ・ データには他の情報源における関連情報へのリンクを含め、ウェブ上の情報発見を支援する。

LODを活用した地域情報の配信は、横浜のアートに関する情報をLOD化したヨコハマ・アート・LODプロジェクト[6]や、函館まちあるきマップの観光ナビゲーション[7]等、国内でも幾つか事例がある。本研究では、これらの事例にはないLODを活用したコンテンツの試作として、下記の3つを実施し、本学におけるLODの利活用を推し進める。以下では、各項目の成果について説明する。

1. LODの配信技術（SPARQL End Point）に基づいたサーバ構築
2. 公開可能なデータの整理と配信
3. LODを活用したコンテンツの試作



図 1 RDFの構造

## 2. 実施内容

### 2.1 LOD 配信技術に基づいたサーバの構築

LODは、RDF（Resource Description Framework）[8]形式でデータの発信を行う。RDFは、コンピュータが情報を扱いやすくするメタデータの表現形式である。RDFは、英語の構文に基づく情報の表現方法であり、データを主語・述語・目的語の3要素（トリプル）で捉え、それぞれの関係性を記述する枠組みである。例えば、主語[吾輩は猫である]と、目的語[夏目漱石]の関係を、述語[著者]を構造化して表現する（図1）。

公開したい情報をLODとして発信することで、異なるデータベース上のデータを相互にリンク・共有することができる。これにより、Web全体を巨大な知識データベースとして利用することが可能となる。RDF情報を入力するためには、SPARQL End Pointを用いる。SPARQL End Pointとは、クエリ言語であるSPARQL[8]によりRDFの検索・取得を行うWebAPIである。

本研究では、以下の二つの方法で、SPARQL End Pointを実装した。

#### (1) Fuseki [9]

#### (2) Google Spreadsheet [10]

Fusekiは、Apache Jenaプロジェクトによって提供されたSPARQLエンドポイントを構築するためのオープンソースソフトウェアである。また、TDBというデータベースシステムを同梱しており、RDFを格納するためのRDFストアにも対応しているため、SPARQL End Point構築と合わせてRDF用のDBも構築することができる。

Google Spreadsheetを用いた方では、Google JS API、Google Visualization API、

Google Feed API, Google App Script (JavaScript) により, 検索や表示の機能を開発した。また, 単に Excel ファイルを Web サーバで公開しても, LOD と呼ぶこともできるようであるが, 本研究では, 上述した LOD の原則を意識し, 第三者が利用可能な形での公開を前提とするため, SPARQL End Point の実装を重視した。

## 2.2 公開可能なデータの整理と配信

LOD として, 以下の 3 種類のデータを用意した。以下にその詳細を示す。

- ① 北海道の蝶[11]
- ② 北海道の観光スポット[12]
- ③ 東北に関する情報 (東北ブレイブズ)

### 2.2.1 北海道の蝶

北海道の蝶に関しては, 北海道博物館 (旧北海道開拓記念館) に調査に行くことで, 国内, 特に道内には蝶に関する Web[13][14] が少ないことが分かり, 本研究で蝶を取り上げることにした。図書[15][16]を参考に, 15 のフィールド (ID, 名称, 学名, 見られる時期, 大きさ, 見られる場所, 食べるもの, 模様, 色, 絶滅具合, 画像, URL, 上科, 科, 亜科) を設けた。フィールド名を作成する際には, "namespace lookup for RDF developers [17]" というサイトを利用し, 既存のフィールド名をできる限り使用することで, 学外の LOD とも連携しやすくなるようにした。現時点で 127 件のデータを登録し, Fuseki を用いた SPARQL End Point で公開している [11][18]。

### 2.2.2 北海道の観光スポット

北海道の観光スポットとして, 千石涼太郎の著書「なまら北海道だべさ!!」 [19]を参考に, 温泉, 会社, 遊び, 食べ物, 北海道遺産, 重要文化財, 風習, 時節, イベント, 日用品, ゆるきゃらの 11 のカテゴリに分けた。フィールド名としては, 名称, 場所, 備考, ポイント (観光のみどころ), 概要, 歴史, 関係性, リファレンスの 8 つを設けた[20]。LOD とし

ては, 402 件のデータを, Fuseki を用いた SPARQL End Point にて公開している [12]。また, 北海道の観光スポットは, Fuseki と Google Spreadsheet の二つの方法で公開しており, 後者は「オンリー北海道 Lab プロジェクト」としてサイトも公開している [21]。



図 2 オンリー北海道 Lab プロジェクト

### 2.2.3 東北に関する情報 (東北ブレイブズ)

学生プロジェクトで制作した, 東北に対する関心を高めることを目的としたカードゲーム「東北ブレイブズ[22]」について, そのカード制作に用いたデータを LOD 化した。フィールドとして, カード名, 読み方, 地域, カテゴリ, URL, 種別, アピールポイント, カードの効果, カードの元ネタ, 効果の設定理由, SVG の 11 を設定し, 現在 41 件のデータを用意, 公開の準備を進めている。この 41 件には, 北海道のカードと東北のカードを対戦させた方が東北への関心が高まるとの考えから, 北海道のデータも含まれている。

## 2.3 LOD を活用したコンテンツの試作

上述した北海道蝶と観光スポット 2 つの SPARQL End Point を利用した情報連携アプリケーションの開発を行った。問い合わせにより取得した情報をもう一方のエンドポイントの問い合わせに利用することで, 関連性の

ある情報を取得し、結果をページに表示することができる(図3)。SPARQL End Point用サーバはDell社製のPowerEdge T320タワーサーバ(表1)を使用した。また、2つのエンドポイントを構築するため仮想化を行った。仮想化は仮想化ソフトであるVMware vSphere Hypervisor ESXi 5.5を使用した。OSはCentOS7.0を使用した。これにより、Fusekiサーバを構築し、前述した蝶と観光スポットのRDFデータを各サーバのRDFストアに追加した。動作確認では、最初に観光スポットLODに問い合わせを行い、見たい名所を決定する。決めた名所の季節の情報を問い合わせし(図4)、結果として、観光スポットの情報に加えて、そのスポットで観測できる蝶の情報を取得できることを確認した(図5)。

表1 サーバのスペック

Dell社製 PowerEdge T320 タワーサーバ	
CPU	インテル® Pentium® プロセッサ 1403 v2 (2.60GHz, 6Mキャッシュ, 2C, 80W) Max Mem 1333MHz
メモリ	8GB RDIMM, 1600MT/s, LV, 2R x8 Data Width
ハードディスク	500GB 7,200RPM (SATA II HDD/3.5インチ/ホットプラグ非対応)
電源ユニット	シングル, ケーブル式電源ユニット, 350W

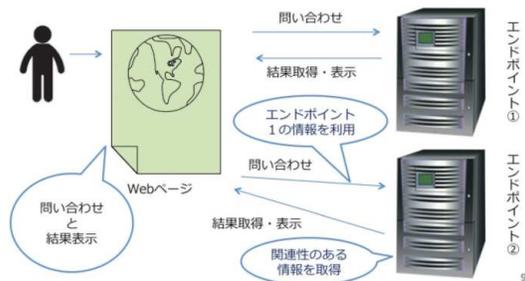


図3 LOD連携アプリケーション

```

問い合わせ文(オンリー北海道)
prefix schema: <http://schema.org/>
prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
select ?名所・名物 ?見所 ?季節 where {
  ?code rdfs:label ?名所・名物 ;
  schema:season ?季節 ;
  schema:lookpoint ?見所 ;
  schema:category ?カテゴリ ;
  filter regex (?名所・名物, "十勝岳温泉") .
} limit 10
    
```

図4 システムへの問合せ

名所・名物	見所	季節
十勝岳温泉	北海道で最も標高の温泉地でもあり、登山基地としても利用される。十勝岳の標高約1,290mの位置にある湯室跡は、条件がそろえば露天風呂から雲を見下ろすことができる。酸性・鉄・硫酸温泉。カルシウム・ナトリウム・硫酸温泉	夏・秋

見ることができる蝶(現在は問い合わせ結果の一番上の名所・名物の季節)  
※春3~5月、夏6~8月、秋9~11月、冬12~2月

名称	学名	時期	場所	食べるもの	色	絶滅具合
ウスバキチョウ	<i>Parressius evermanni</i>	6月,7月	標高1,700m以上の高山帯のみ	コマクサ	黒と黄色	★3
ヒメウスバシロチョウ	<i>Parressius stubbendorfi</i>	6月	道内に広く分布し、山道や溪流沿いで見られる	エゾエンゴサク	白	★2
ウスバシロチョウ	<i>Parressius citrinarius</i>	6月	道内では渡島半島、石狩低地帯から白高山脈、帯広周辺、根室台地などに分布している	エゾエンゴサク、ムラサキケマン	白	★2
アゲハ	<i>Papilio xuthus</i>	3月,4月,5月,6月,7月,8月	道内に広く分布している	キハダ、サンショウ	黒と黄色	★1
キアゲハ	<i>Papilio machaon</i>	3月,4月,5月,6月,7月,8月	道内に広く分布している	シシウド、セリ、ボウフウ、イワミシバ	黒と黄色	★1
オナガアゲハ	<i>Papilio maclerentus</i>	5月,7月	北海道西部~南部に分布している	コクサギ、サンショウ、カラスザンショウ	黒	★1

図5 統合情報の出力

### 3. まとめと今後の課題

本研究では、LODを用いた地域情報の発信と活用のために、SPARQL End Pointを構築、北海道の蝶、観光スポットの2つの情報を公開した。また、本学では我々以外にも地域コンテンツに関して研究をしている教員が多い。LODを本学に導入することで、本学の研究成果を学外の方々にも活用してもらえる可能性が高まると期待する。

#### 参考文献

[1] 庄司昌彦他, 特集オープンデータの活用, 情報処理, Vol.54, No.12, pp.1201-1247, 2013.

- [2] 伊藤健太郎, 佐藤勇紀, 濱崎俊, ためしてわかるセマンティック Web ～次世代型データ活用術～, 技術評論社, 東京, 2007.
- [3] 武田英明, “オープンデータと Linked Open Data”  
[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/it\\_yugo\\_forum\\_data\\_wg/pdf/003\\_03\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/it_yugo_forum_data_wg/pdf/003_03_00.pdf). (参照: Jan,22,2015).
- [4] Michael, “5 ★ オープンデータ”  
<http://5stardata.info/ja/>  
 (参照: Jan,21,2015).
- [5] Tim Berners-Lee, “Linked Data – Design Issues”,  
<http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>. (参照: Jan,19,2015).
- [6] ヨコハマ・アート・LOD プロジェクト,  
<http://ocdi.jp> (参照: Feb. 6, 2014)
- [7] 奥野 拓, Linked Open Data を用いた地域観光情報コンテンツ活用の試み, 観光情報学会 第8回研究発表会講演論文集, pp.53-56, 2013.
- [8] Cyber Librarian, “RDF 用クエリ言語 SPARQL”,  
<http://www.asahi-net.or.jp/~ax2s-kmtnt/internet/rdf/rdf-sparql-query.html>  
 (参照: Jan,26,2015).
- [9] Fuseki: serving RDF data over HTTP,  
[http://jena.apache.org/documentation/serving\\_data/](http://jena.apache.org/documentation/serving_data/) (参照: Aug.31, 2015) .
- [10] Google Spreadsheet,  
[https://www.google.com/intl/ja\\_jp/sheets/about/](https://www.google.com/intl/ja_jp/sheets/about/) (参照: Aug.31, 2015) .
- [11] 北海道の蝶 SPARQL End Point,  
<http://hiu-lod3.do-johodai.ac.jp/>  
 (参照: Apr.10,2015)
- [12] 北海道の観光スポット SPARQL End Point,  
<http://hiu-lod2.do-johodai.ac.jp/>  
 (参照: Apr.10,2015)
- [13] ぶてろんワールド・蝶の百科ホームページ,  
<http://www.pteron-world.com/>  
 (参照: Apr.10,2015)
- [14] 国立科学博物館「MOTHPROG」,  
<http://www.mothprog.com/>  
 (参照: Apr.10,2015)
- [15] 木野田君公, 札幌の昆虫, 北海道大学図書刊行会, 2006.
- [16] 日本チョウ類保全協会, フィールドガイド 日本のチョウ, 誠文堂新光社, 2012.
- [17] namespace lookup for RDF developers,  
<http://prefix.cc> (参照: Apr.10,2015)
- [18] 村上廉斗, 諸岡卓真, 斎藤一, 長尾光悦, Linked Open Data による地域情報の発信と活用,  
 2015 年電子情報通信学会総合大会・ISS 特別企画「学生ポスターセッション」,  
 ISS-P-63, 2015.
- [19] 千石涼太郎, なまら北海道だべさ!!, 北海道新聞社, 2007.
- [20] 斉藤成美, 斎藤一, 長尾光悦, 諸岡卓真, 隼田尚彦, 向田茂, 安田光孝, 北海道の独自性を学ぶための LOD を活用した Web サイトに関する研究 ～有名観光コンテンツと似て否なるデータを表示させるシステムの提案～, 観光情報学会第9回研究発表会講演論文集, pp.30-31 2014.
- [21] オンリー北海道 Lab プロジェクト,  
<http://sherry.do-johodai.ac.jp/doc/>  
 (参照: Apr.10,2015)
- [22] 佐藤雄哉, 鳴津貴之, 佐藤佑起, 吉野正樹, 斎藤一, 東北を知るきっかけを作るカードゲーム「東北ブレイブズ」の開発, 観光情報学会第11回全国大会講演論文集, pp.20-21, 2104.

## 謝辞

本研究は平成 26 年度学内共同研究『LOD (Linked Open Data) による地域情報の発信と活用に関する研究』により行われました。



# CONTENTS

## 〈Papers〉

Practical Research on Types of Curriculum of General High School —For a viewpoint of curriculum planning aiming at course realization—	Toru TSUBAKI	1
Water Flow Modeling and Simulation on Biomass Seaweed	Masashi FURUKAWA Jun OGAWA Masahito YAMAMOTO Michiko WATANABE Suguru SAWAI	17
Growth Patterns of See-plant Populations and Their Motion Analysis for Based on Stochastic Architectural Model	Masashi FURUKAWA Jun OGAWA Masahito YAMAMOTO Michiko WATANABE Suguru SAWAI	29
The examination of conditions and physical characteristics in young female hypotension subjects	Hiroki SATOH	41
The Bad Influence of Internet Addiction on Morality of Japanese Youth: Loss of Relationships with Others and Oneself	Yuta GOTO	51
On the System of the Logic Teaching Materials in the High School Math and the Proof Techniques Based on Resolution Principle	Yuuichirou HAYASHI	61
A Diachronic Study of an English Idiom —Following the Track of “go the whole hog” —	Kazumasa ITO	81
How Japanese and Foreign People See Each Other A Sociolinguistic Analysis of Common Misperceptions and Why What We See Is Not Necessarily What We Get	Charles McLARTY	93

## 〈Notes〉

Development of Position-based Voice Tourist Guide System with Background Music	Mitsuyoshi NAGAO Miyu YOSHINO	105
---	----------------------------------	-----

## 〈Report〉

A Study of Application of Linked Open Data in Local Community	Hajime SAITO Mitsuyoshi NAGAO Takuma MOROOKA	113
---	--	-----

北海道情報大学紀要第 26 巻第 1 号奥付におきまして誤りがございました。次のとおり訂正いたしますとともに深くお詫び申し上げます。

【正】 編集者 北海道情報大学紀要委員会  
委員長 渡部 重十

【誤】 編集者 北海道情報大学紀要委員会  
委員長 渡辺 重十

北海道情報大学紀要第 26 巻第 2 号 33 ページの要旨 2 行目におきまして誤りがございました。次のとおり訂正いたしますとともに深くお詫び申し上げます。

【正】・・・相違がある。そのためコミュニケーションの・・・

【誤】・・・相違がありそのため、でコミュニケーションの・・・

北海道情報大学紀要第 26 巻第 2 号奥付におきまして誤りがございました。次のとおり訂正いたしますとともに深くお詫び申し上げます。

【正】 編集者 北海道情報大学紀要委員会  
委員長 渡部 重十

【誤】 編集者 北海道情報大学紀要委員会  
委員長 渡辺 重十

## 執筆者紹介（掲載順）

氏名		主たる専攻
椿 達	北海道情報大学経営情報学部 先端経営学科准教授	教育制度、数学教育、 進路指導・キャリア教育
古川 正志	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科教授	複雑ネットワーク、人工生命、 ナチュラルコンピューティング、 ニューロエボリューションとディープ ラーニング、物流システムの開発
小川 純	北海道大学情報科学研究科学術研究員	人工生命
山本 雅人	北海道大学情報科学研究科教授	メタヒューリスティクス、 ゲーム情報学、人工生命、 複雑ネットワーク
渡辺美知子	北見工業大学機械工学科准教授	知能機械、人工生命、機械学習、 メタヒューリスティクス
澤井 秀	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科教授	ロボット工学、生産システム工学、 CAD/CAM
佐藤 浩樹	北海道情報大学医療情報学部 医療情報学科教授	内科学（循環器内科学、総合内科）、 産業医学、医療統計学
後藤 雄太	北海道情報大学医療情報学部 医療情報学科准教授	倫理学、哲学、生命倫理学、 情報倫理学
林 雄一郎	北海道情報大学情報メディア学部 情報メディア学科特任教授	生徒指導、教育相談、数学教育、 学校経営論、教師養成教育
伊藤 一正	北海道情報大学情報メディア学部 情報メディア学科准教授	英語科教育法、英語学、教師論、 学校経営論、教育相談
Charles McLARTY	北海道情報大学情報メディア学部 情報メディア学科准教授	言語学、異文化間のCommunication、 北海道の国際化
長尾 光悦	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科准教授	複雑系工学、システム工学、 観光情報学
吉野 美優	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科4年	
斎藤 一	北海道情報大学情報メディア学部 情報メディア学科准教授	観光情報学、教育システム情報工学
諸岡 卓真	北海道情報大学経営情報学部 先端経営学科准教授	日本近現代文学 （特にミステリ・推理小説）



平成27年度北海道情報大学紀要委員会

(2015年4月～2016年3月)

委員長 佐藤 裕二 (教授：医療情報学科)  
委員 坂本 英樹 (教授：先端経営学科)  
委員 渡部 重十 (教授：システム情報学科)  
委員 島田 英二 (准教授：情報メディア学科)  
代理 広奥 暢 (准教授：情報メディア学科)  
委員 ジョエル ライアン (講師：先端経営学科)

北海道情報大学紀要 第27巻 第1号

印刷 平成27年11月1日

発行 平成27年11月10日

---

編集者 北海道情報大学紀要委員会

委員長 佐藤 裕二

発行者 北海道情報大学

学長 富士 隆

発行所 北海道情報大学

〒069-8585 北海道江別市西野幌59番2

TEL 011-385-4411 FAX 011-384-0134

URL <http://www.do-johodai.ac.jp/>

---

印刷 株式会社松江印刷

〒060-0033 北海道札幌市中央区北3条東7丁目344番地1

TEL 011-206-7278 FAX 011-206-7268



