# 化学の先生が数学、物理を教えるって!?

白 神 達 也 Tatsuya SHIRAKAMI

理工学部物質化学科 講師
Associate Professor, Department of Materials Chemistry



# 1 はじめに

物質化学科において、「物理学 I 」を担当して 4年目、「数学 II 」を担当して 2年目になります。2007年度のカリキュラム改革により、上記科目は「物理学 II・演習(2年次前期)」と「数学 III・演習(2年次前期)」に移行しましたので、この機会に大学の低学年時に履修する数学と物理は、どのように始まって、どのような変遷を受けてきたか、また、いかに憂慮すべき変容を遂げているかについて私論に近い内容ですが概説します。また、物質化学科のカリキュラムが JABEE に採択されてから、数学・物理教育の位置づけがどのように変わっていったかを述べることによって表題の一つの回答としたいと思います。

#### 2 数学・物理教育事始め

明治維新後、欧米の科学・技術教育を輸入・導入すべく、1877年に東京帝国大学を設立したのですが、初期の教官は「大臣よりも高い」俸給で雇われた欧米のお雇い外国人たちが占め、カリキュラムはヨーロッパの大学にならい、教科書は原書のみ、授業もノートも答案も外国語という状態でした。このため、専門教育を受けるためにはまず英語やドイツ

語等の高い語学能力が不可欠であり、その教育のために同時に東京大学予備門が設立されました。後の旧制一高にあたります。だから旧制高校には語学学校という側面がありました。

いつまでも欧米人の教育に頼っているのではな く、日本語での数学・物理教育が系統的な形で数学 ・物理教育が展開された始めもまた、旧制高校でし た. 旧制高校(3年制)の数学・物理教育の内容 は,大学の1,2年次(かつては教養部が担当)に おける数学・物理教育に対応していました. そこで まず、旧制高校の数学・物理教育の要点を見ておく ことにしましょう.実は旧制高校の教育内容は,1918 年の文部省令によって細かく規定されていました. このあたりで戦前の 5-5-3-3 制が確立したようで す (5-4-3-3 制という飛び級制度もあり). 理科の 生徒の場合, 数学・物理は理科系のすべての専門の 大学教育のための共通基礎教育の一つでした. 数学 の場合では現行の単位数に換算すると、講義と演習 が20単位分あり、物理の場合では現行の単位数に 換算して,講義と演習が15単位分,実験が(30時 間を1単位として)2単位分に相当するほどありま した. すべて必修ですからとっても多いように感じ られますが、旧制高校はエリート教育を施すところ で、このくらいは当然と考えられていたのでしょ

Э.

教科の具体的な内容については、旧制高校が30 年近くも続いていてその間の変化や地域差もあるこ とが想像されますが、府立浪速高校(大阪大学の前 身) では、数学は代数幾何学や微分積分学、代数学 (今で言う高校の数 I に近い), 図学がその中心で, 教科書も独立して存在しましたが、物理では古典力 学や電磁気学が中心の、ひとつのまとまった教科書 で講義されていたようです. 当時の時代としては、 相対論は成立していましたが、量子力学はまだ勃興 期で,大学での研究対象として湯川秀樹や朝永振一 郎が取り組んでいた時代と重なるからか、どちらも 講義には取り入れられていませんでした.しかし, 数学などでは最先端の位相幾何学や群論などの問題 が平気で試験に出ていたようです. 解ける訳がない んですが……. ちなみに、30年ほど前のことです が、相対論で有名な内山龍雄阪大名誉教授は、目下 抱えている問題を, 平気で定期テストに出したそう です. もし解ける学生がいたならば、教授職を譲る つもりだったんでしょう.

旧制高校ではお雇い外国人の時代と違って、講義などは日本語で行われることが普通になり、今日では東アジア全般で通じる「座標」、「行列」、「原子」などの訳語が膨大に生まれました。欧米以外では母国語のみでの理科教育は困難だと聞き及びますが、東アジアでそれが成立しているのは、この功績が大きいといえます。さらに、優れた教科書が書かれ始めたことも特筆すべきことです。中でも高木貞治著「解析概論」は、なんと70年以上たった今でも市販され、テキストとして使用している大学もあるのです。

旧制高校においては、帝国大学を卒業した優れた 教員が教育者としての誇りをもって教育に当たって いたことがよく知られています。出典は忘れました が、旧制一高の物理の実験指導をしていた教授が 「電流計などの精密計器を持って移動するときは、 計器を痛めないように向心加速度の影響を最小限に とどめるため、廊下は直角に曲がるのではなく、な るべくゆっくりと大きな円を描いて曲がるべし」と 言ったとかいうエピソードが残っています.

# 3 新制大学の設立と私立大学の動き

そんな "古き良き" 旧制高校も学制改革によって 旧制大学と統合されるなどして消滅し,新制大学と なりました. なお,新制大学とは,国立学校設置法 (1949 年施行) に基づいて設置された大学のことを 指します. 日本では設置法施行以前の大学令等による官公私立大学を旧制,施行後を新制と呼びます. いわゆる 6-3-3-4 制ともいいます学制改革によって大学は旧制大学から新制大学へと変わりました. そしてカリキュラムは大雑把に言って一般教育課程と専門課程から成り,一般教育科目課程は人文・社会・自然の3分野,外国語(第一,第二),保健体育から成立していました. これはどの大学でもほとんど同じでした.

またそれまでの大学に比べて学生数が大幅に増加 したため、キャンパスや教員組織が分離していて (場所の違う学校を統合したので当然), 一般教育は 初学年に集中して設置され,専門教育は高学年に置 かれる例がほとんどでした. そのため、これらの大 学にあっては, 数学・物理の基礎教育は一般教育の 枠組みの中で始められました. この一般教育を担当 する組織はほとんど旧制高校の教授からなり,これ らをまとめて教養部としておいた新制大学が多かっ たようです. そのため一般教育は教養教育として位 置づけられて,必ずしも専門課程に進むための基礎 という位置づけではありませんでした.これは GHQ のニューディーラーの後押しですすめられたアメリ カ教育使節団報告書の実現によるものです. 一般教 育とは、どの分野にも依存しない普遍性を理念とす る教育のことで,人文科学,社会科学,自然科学な どの基礎科学を基本に総合科学, 応用科学, そのほ か主題的なテーマを扱うものです。 ヨーロッパで伝 統的に行われてきた一般教育に, リベラル・アーツ (Liberal Arts) の概念があります. 一般教育は、幅 広く物事を身につけ、それを深く人生に生かそうと

する教養の概念にも通じ,人間のための基礎的,基 本的な教育です.

このときに数学の一般教育科目として選択された ものが旧制高校からの流れをくむ「解析学(微分積 分学) | と新たに取り入れられた「線形代数学 | で す. どういういきさつで線形代数が取り入れたの か、今回は調べが及びませんでしたが(構造主義の 影響か?),回路理論や最小自乗法,量子化学の基 礎として優れているために、現在でも採用され続け ているのでしょう. 数学は普遍的な学問で、定理が 覆ることなどありえない盤石なものですから「教 養」というつもりで採用したとしても、思わぬこと にまで応用範囲が広がっているものです. これら2 つの科目を一般教育科目として採用したために, 旧 来の科目で教えられなくなったものの一部は新制高 校で教えられることになったものもあります. 前述 の代数学は数学 I の一部に、代数幾何の円の方程式 などは数学Ⅱに採用されています.

物理では、どこの新制大学でも「力学」を一般教育として 面科目として選択しました。ただ、一般教育として の「力学」とは、まるっきりニュートン力学でした から、ニュートンが万有引力の法則から惑星の軌道 方程式を導き出し、ケプラーの法則を証明するくだ りを記述する、力学的世界観といったパラダイムは 必須アイテムでした。理科系の学生で天文学を目指 す人などはごくまれですから、このような理解が 「教養」と信じられてきたのでしょう。「電磁気学」 は一般教育科目に入れるより専門科目に入れる大学 の方が多かったようです。これはマックスウェルの 方程式をちゃんと扱おうとすると、数学的に難解で あったことと関係しているようです。相対論は専門 的すぎるのでともかくとして、量子力学関係の講義 も一般教育科目としては採用されませんでした。

私立大学でも教養部を持つところは同じような数学・物理のカリキュラムを採用していたようです. 教養学部を持たない大多数の私立大学では,各学部に教員を置いてその学部責任のもとに教育がおこなわれていましたが,内容的には新制大学と大同小異 でした.

本学理工学部創設の段階では,大学設置基準とし て一般教育科目と専門科目が分けられて配置されて いましたので、最初の新入生が入ってきた1989年 時点では,数学・物理教育は,一般教育科目として の「数学」(1年次通年,必修4単位)と「物理 学|(1年次通年、必修4単位)が置かれていまし た. 当時のシラバスが見当たらなかったので、具体 的な内容がよく分かりませんが、故高橋哲郎教授の HP によれば (http://www.eonet.ne.jp/~takahate/), そ の内容は新制大学と同じで、力学でした. 物質化学 科2年次では「数学概論」(故山口昌哉教授担当,2 年次通年,選択4単位)がありました。このシラバ スは見ることができて、その内容は微分積分学の続 きが半分弱と、線形代数学が半分強でした. そこか ら類推するに「数学」は微分積分学に少し重点を置 いて、線形代数も一部教えるといった内容であろう と推測されます. 物理は「物理学第二」(故高橋哲 郎教授担当,2年次通年,必修4単位)で,内容は 流体力学や熱力学といったもので、物質化学科にと って必修で必要であったかどうか、疑問が残りま す. 熱力学は物理化学関連科目で教えていましたか ら. それにしても物理学の必修単位数が8もあった んですね.

# 4 教養部改組による理科系学部 における理科系教養教育の喪失

1991年に大学設置基準が改正されて、一般教育科目についての縛りがなくなり、比較的自由にカリキュラムが組めるようになると教養部を持つ大学では教養部を解体して、その構成員を既存の学部に配置替えしたり、4年制の学部に改組したりすることが相次ぎました。理科系学部における数学・物理は専門教育に組み込まれ、「教養」としての数学・物理教育は終わりを告げました。また、各大学や各学部、あるいは各学科でカリキュラムをかなり自由に編成できるようになり、さまざまなバリエーションが生まれたようです。

最初の卒業生を出すまでカリキュラムを変更でき ない決まりがあるために,本学理工学部では大学設 置基準の大綱を受けてカリキュラムを改定したのは 1993年になりました. その時に一般教育科目の 「数学」と「物理学」は廃止されて,「数学概論」と 「物理学第二」と統合, 再編成されるような形で学 科固有科目の「数学 I 」(1年次通年,必修 4単 位),「数学Ⅱ」(2年次通年,選択4単位),「物理 学 I | (1年次通年, 必修 4 単位), 「物理学 Ⅱ | (2 年次通年, 必修4単位), となりました. 「数学 I | の内容は微分積分学と線形代数学が半々であったの ですが,「数学Ⅱ」の方は比較的化学向けの内容と して, 化学反応速度論を見据えた微分方程式の解法 や行列, 熱伝導方程式 (放物型偏微分方程式), フ ーリエ級数などが入っていました.「物理学 I 」は 旧「物理」と同じく力学で,「物理学Ⅱ」は電磁気 学や光学,量子力学の初歩が教えられていて,ここ に初めて量子力学を必修の形で化学の基礎として考 えるという態度が表明されました.

# 5 リメディアル教育と JABEE, 「ゆとり教育」への対応

1999年に物質化学科(同時に機械システム工学 科)において、「物理学序論」が開講されました. この科目は高校での物理履修者が年々減少している ことを受けて、大学の物理教育にスムーズに追いつ くことができるように設けられたもので、高校の物 理を復習(あるいは初めて履修)するためのリメデ ィアル教育として導入されました.翌年には「数学 序論」が開講され、高校の理系クラスでは必修であ るはずの数学についてもリメディアル教育を行い始 めました. 数学は 100% 理解してないなら、全く理 解していないのとあまり変わらないから、もう一度 やり直して高校の数学が使えるようにすると,大学 の数学を学ぶ上で非常に便利だといえます. これら の科目は講師として予備校の先生にお願いしたこと もあって非常に注目を浴び、NHK の「クローズア ップ現代」に取り上げられたことがあります. 和田

教授が出演されました.

2000年には同時にカリキュラム改革が行われま した. 数学・物理は「数学 I」が「数学 I」(1年 次後期,必修2単位),「数学Ⅱ」(2年次前期,必 修2単位)の2つの科目に分かれました.「数学 Ⅰ」では微分積分学を,「数学Ⅱ」では線形代数学 を教えるという, なるべく通年科目をなくしていく という方針と、もともと2つの分野を1つにまとめ ていた無理を解消するものでした. 旧「数学Ⅱ」は 「数学Ⅲ | (2年次後期、選択2単位)と、量は半分 になりましたが、化学の一部の分野で必要ではある が、従来のカリキュラムでは教えてこなかったトピ ックスを扱うことになりました. 旧「物理学 I」は 「物理学 I」(1年次後期,必修2単位)と内容は力 学のまま量が半減され、旧「物理学Ⅱ」は「物理学 Ⅱ」(2年次前期,必修2単位,量子力学入門)と 「物理学Ⅲ」(2年次後期,選択2単位,電磁気学入 門)の2つに分けられました.物理学の必修単位数 は4と半減され、化学の基礎としての物理をより明 確に打ち出しました.

この新カリキュラムを少しグリーンシフトした物 質化学科のカリキュラムは、2003年に「グリーン ケミストリー 21」は日本技術者教育認定機構(JA-BEE: Japan Accreditation Board for Engineering Education)から認定を受けました. JABEE は工学教育 において世界水準の教育プログラムを審査して認定 しようという機関です.物質化学科では審査を受け て世界水準の教育プログラムであることが認定され ました. これは化学系の関西の私立大学では最も早 い認定です. 保証された物質化学科の教育プログラ ムを終了すると自動的に技術士試験の一次試験が免 除になります. プログラムでは【学部の学習・教育 目標】として「化学の基礎:数学,物理学,物理化 学,無機化学,有機化学を含む科学的基礎知識をバ ランスよく学習し, これらの普遍的真理に基づいた 論理的思考・柔軟な発想法を身につける.」という 形で、数学・物理教育が化学の基礎であると明快に 述べています.

一方,他大学の一部の学部(医学部,農学部,教育学部理科教育など)で数学・物理を必ずしも必修としないところが少なからず出てきました。これは物質化学科教員一同の方針の真逆です。このような教育を受けた学生(数学・物理を避けまくった学生)が別な大学の大学院に進学をしたら悲惨なことになります。

2007年から「ゆとり教育」に対応した形でカリ キュラムの一部改訂が行われ始めています.「数学 序論 | 「物理学序論 | を「数学 I・演習 | (1年次 前期,必修2単位),「物理学I・演習|(1年次後 期,必修2単位)とリメディアル教育の位置づけを 大きく変更したのです. 数学は高校で必修とはい え,一般入試に合格して入学してくる人が減少し, 比較的早くに推薦で合格した人が増加する状況で は,数学Ⅲを高校在学中に十分勉強してこない人も また増えると考えられるからです. また, 高校での 物理履修者が今後とも増える可能性は少なく、ほと んどゼロにまで落ち込むことも想像の範囲内におい ておく必要があるからです. ナンバリングの関係 で、従来の「数学 I |、「数学 II |、「数学 III | はそれ ぞれ,「数学Ⅱ・演習」(1年次後期,必修2単 位),「数学Ⅲ·演習」(2年次前期,必修2単位), 「化学数学」(2年次後期,選択2単位)に,「物理 学Ⅰ」,「物理学Ⅱ」,「物理学Ⅲ」はそれぞれ「物理 学Ⅱ・演習」(2年次前期,必修2単位),「物理学 Ⅲ·演習」(2年次後期,必修2単位),「物理学IV ・演習」(3年次前期,選択2単位)に変更になり ました.「・演習」というのは、従来の講義科目よ りも演習を多く取り入れるという方針を示していま す. 筆者もこの機会に「物理学Ⅱ・演習」の内容を 少し変更しようと思っています. 全体的に数学的な 扱いを増やしていく予定です. その理由は、外的に は2年次前期に移動したため、すでに数学をかなり 履修していることと, 目に見えない原子, 分子を扱 う物質化学科では、それらの運動を規定するには数 式に頼るしかないからです. もうひとつ担当してい る「数学Ⅲ・演習」は、その前身の科目から線形代

数学に加えて,関数空間やフーリエ級数,フーリエ 変換の紹介を行っています.どの概念も現代化学を 理解するのに不可欠です.

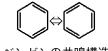
# 6 化学に出てくる数学・物理

数学や物理は使うから教えている訳で、単に論理的思考を養うためといった、明確な目的なしに教えている訳ではありません。ただ、そのことが低学年のうちには分かりにくいのです。化学の先生が数学・物理教育に携わるのは、将来的に数学・物理のどの分野の使用頻度が高いかを調べて、限られた時間の中でどのような配置で盛り込めばいいか判断できるからです。ここでは数学や物理が化学でどの様に使用されるかということの実例をお示しします。数学の例が2つ、物理の例がひとつです。

#### 6-1 ヒュッケル法

数学の応用例として、最初にヒュッケル法(Hückel Method)を取り上げます。ヒュッケル法はエーリヒ・ヒュッケルによって提案された分子軌道法です。ヒュッケル法では電子に関する積分に対して以下のような近似を導入します。重なり積分の値は同じ原子軌道同士では 1、異なる原子軌道の間では 0とし、クーロン積分(ハミルトニアン行列の対角要素)の値は同じ種類の原子では等しいものとし、パラメータ  $\alpha$  によって表します。共鳴積分(ハミルトニアン行列の非対角要素)の間に結合を持つ原子間でのみ 0 でない値をもつとし、パラメータ  $\beta$  によって表します。このあたりのことは量子化学を習っていないと分からないとおもいますが、具体的にベンゼンについて考えて、数学がどの様に現れるかをみてみます。

ベンゼンの六員環構造は、ケクレがヘビ (ウロボロス) が自分の尻尾を嚙んで輪状になっている夢を



ベンゼンの共鳴構造

見て思いついたと言われています。さらにケクレは、置換ベンゼンの異性体の数をそのケクレ構造で説明するためにベンゼン環は2つのケクレ構造の間を振動しているという仮説を提唱しました。ポーリングは、ベンゼンは2つの構造が混ざった中間体構造であるとして量子力学に基づいた説明を示しました。この中間体構造とは、2つの構造の高速相互交換では無くそれらの重ね合わせを意味します。この現象は共鳴として知られています。

一方、ヒュッケル法に基づいて、ベンゼンの電子 構造を求めるための永年方程式(固有方程式)は以 下のようになります.

$$\begin{vmatrix} \alpha - \varepsilon & \beta & 0 & 0 & 0 & \beta \\ \beta & \alpha - \varepsilon & \beta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & \alpha - \varepsilon & \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta & \alpha - \varepsilon & \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \beta & \alpha - \varepsilon & \beta \\ \beta & 0 & 0 & 0 & \beta & \alpha - \varepsilon \end{vmatrix} = 0$$

 $\alpha$ ,  $\beta$  の意味は前述のとおりです。この方程式を解くことでベンゼンのエネルギー準位(固有値)が得られ、その固有ベクトルから波動関数が求まります。ヒュッケルはベンゼンを含めた環状ポリエンにおいて、 $\pi$  電子数が4n+2と表されるときに特に安定となることを示しました。現在ではケクレやポーリングの考え方は鳴りを潜め、ヒュッケル法がより精緻化された分子軌道法による説明がより事実に近いと考えられています。

#### 6-2 化学反応速度論

反応速度は反応物または生成物の濃度の時間に関する微分で定義されます。反応速度は各反応物の濃度の冪(ベキ、power)に比例することがよくあります。(→速度則)。つまり、

Rate (V, 速度) = 比例定数 X 反応物の濃度の n 乗速度は単位時間当たりの変化する物質の量で表現します。  $A+B\rightarrow C+D$  の場合、では速度式は、

 $V=k[A]^{n_a}[B]^{n_b}$ となります.ベキの乗数は反

応機構を示唆するものでもあります.

反応の次数 (order) は速度式におけるそれぞれの物質の濃度のベキ指数の和として定義されます. 指数  $n_a$ ,  $n_b$  を A および B に関する反応次数といい,  $n_a+n_b$  は反応の次数といいます.

一次反応 (first-order reaction) は  $A \rightarrow B$  で表され, 速度式は次の微分方程式で表されます.

二次反応 (second-order reaction) は A+B→C+D で表され、速度式は次の微分方程式で表されます.

$$-d[A]/dt (=-d[B]/dt = d[C]/dt = d[D]/dt)$$
$$=k_2[A][B]$$

k<sub>2</sub> は二次速度定数(単位:L mol<sup>-1</sup>sec<sup>-1</sup>)

A に関して一次,B に関して一次,全体として二次になります.

このように速度式は微分方程式に帰着され、反応 物の濃度変化は数学的にこの方程式を解くことによ って求まる訳です.

#### 6-3 気体分子運動論

物理の中でも力学が中心となる化学の分野として 気体分子運動論があります。まず、一辺の長さ Lの立方体に閉じこめられた、熱平衡状態にある理想 気体を考えます。気体は質量 m の分子 N 個で構成 されていて、立方体の各稜はそれぞれ x 軸、y軸、z 軸に平行であるとします。分子間の衝突を無 視すると (衝突は常に完全弾性衝突であるとする と、単に2分子間の速度が入れ替わっただけとな り、衝突しないでお互い同士がすり抜けるとしても 結果は一緒になります), 各分子は立方体中を自由 に飛び回り、壁に衝突しては跳ね返ります. ここで ある一つの分子の速度を $\nu$ , そのx 成分を $\nu_x$  とす ると、その分子の持つ運動量の x 成分は  $mv_x$  とな ります. そして分子が立方体の x 軸に垂直な壁に 弾性衝突すると, 分子は壁に平行方向の速度を変え ず、垂直方向では速度の大きさを変えずに向きが逆 になるから、壁に受け渡される運動量は壁に垂直で 大きさが2mvxとなります.ところで分子が左右の 壁の間を一往復するのに要する時間は 2 L/vx である から、十分な長さの時間間隔tの間には、一方の 壁に  $v_{xt}/(2L)$  回衝突します. したがってその間に 壁に渡される力積は

$$f_x t = 2 m v_x \cdot \frac{v_x t}{2 L}$$

となり、壁に及ぼす力の大きさが

$$f_x = \frac{mv_x^2}{L}$$

と求まります。気体は N 個の分子からなりますから、そのすべての寄与を足し合わせると、壁の受ける合力は壁に垂直で、その大きさ F は  $v_x^2$  の平均値  $\overline{v}_x^2$  を用いて、

$$F = \frac{Nm\bar{v}_x^2}{L}$$

と表されます. 熱平衡状態では分子の速度分布は等方的だから, 平均値でいえば,  $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2$  が成り立ち, 定義により分子の速さ v は  $\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2$  であるから,  $\bar{v}^2 = 3\bar{v}_x^2$  が成り立ちます. そして壁にかかる圧力は単位面積あたりの力であるから,

$$P = \frac{F}{L^2} = \frac{Nm\bar{v}^2}{3L^3}$$

ここで L3 は気体の体積 V であるから

$$PV = \frac{Nm\overline{v}^2}{3}$$
 (ボイルの法則)

が得られます.

一方,この気体の物質量 $e^n$ とすると,理想気体の状態方程式はPV = nRT(ここでRは気体定数,Tは絶対温度)と書ける。そしてアボガドロ定数 $e^n$ とすると, $N = nN_A$ であることから,

$$\frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{3}{2}kT$$

が得られます.ここで  $k=R/N_A$  はボルツマン定数です.

こうして、このような素朴な力学的扱いでボイルの法則だけでなく、熱平衡状態での1分子の運動エネルギーの平均のような微視的量と温度のような巨視的量とを結びつけることができました。

# 7 おわりに

お雇い外国人による欧米語による講義から始まった数学・物理教育は旧制高校という担い手のもとで日本語での教育と移り変わり、学制改革によって一般教育科目とされました。そのため、数学・物理教育は「教養」教育と位置づけられ、必ずしも理系学部の学問の基礎という位置づけではありませんでした。1991年に大学設置基準の大綱が改定され、その軛から解き放たれたのですが、各大学での対応は自由に任されたため、それこそまちまちで、ついには必修でもなくなってしまったところもあります。

本学理工学部は最初に入学生を迎えたのが 1989 年であったので、「教養」教育の軛から逃れることができずに、最初にカリキュラムを改定できたのが 1993 年と遅くなりました.それでも物質化学科では化学の基礎としての数学・物理教育は、「微分積分学」、「線形代数学」、「力学」、「量子力学(入門)」と明確に定めました.この現在のプログラムが JABEE によって評価され、認定されている訳で

す. 2007 年度からのカリキュラム改定は、この枠組みを変更するものではなく、高校の数学・物理を取り入れていくものです。ある意味では旧制高校のカリキュラムへの回帰とも言えるかもしれません。

「教育は国家百年の大計」と言われますが、日本の教育はそのままで百年続いた時期はなく、幾度も変更を加えられてきたことが、今回の調べで分かりました。本学理工学部物質化学科の数学・物理教育は、化学の基礎として最小限の時間で最大の効果を得ようと変遷してきましたが、21世紀の中盤くらいには近年発展の著しい分子生物学がその基礎に加

わるのかもしれません.

最後に旧制浪速高校の資料を快く閲覧させていただきました,大阪大学総合学術博物館館長で,筆者の研究室の先輩の江口太郎教授に深く感謝いたします.ちなみに大阪大学総合学術博物館は2007年8月17日にリニューアルオープンしました.詳しくはhttp://www.museum.osaka-u.ac.jp/jp/index.htmlをご参照ください.また,故高橋哲郎教授のお嬢様の国重いずみ様にはHPの参照とURLの掲載を快諾していただきました.ここに深く感謝いたします.

# ゆったり湖上散歩

# 岩 本 太 郎 Taro IWAMOTO

理工学部機械システム工学科 教授 Professor, Department of Mechanical and Systems Engineering





図1 愛艇と私

Who's Who に琵琶湖でカヤックに乗りたいと書いてしまったことがきっかけで、カヤックを買うことにした。2001年の夏、堅田の琵琶湖カヌーセンターで二人乗り組み立て式のフォールディング・カヤック(ARFEQ:図 1)を購入した。以来、琵琶湖でカヤキング(Kayaking)を楽しんでいる。小一時間組立作業で汗をかいた後、カヤックに乗り込み、パドルで岸を一押しして湖岸から離れ、静かに湖上に漕ぎ出すときの気分は、最高~です。

# 1. カヤックについて

ここでカヌーとカヤックの違いを言っておきた い. カヌーとカヤックは厳密には異なる. ポリネシ アやカナダなど広い範囲で使われていた南方系のカヌーは、大型で甲板を張っていないオープンデッキなので、波をかぶると浸水しやすい. これに対しエスキモーを代表とする北方系のカヤックは小型でデッキ(甲板)があり、波をかぶっても浸水しにくい. 氷の合間をすり抜ける機動性と、転覆しても着座のままハドルを使って自力で元の状態に復元できる運動性の高さが特徴である.

カヌーのパドル(ボートのオール)はシャフトの 片側にのみブレード(水かき板)が付いているシン グルパドルで,カヤックはシャフトの両端にブレー ドが付いているダブル(ブレーデッド)パドルを使 う. いわゆる「おわんボート」は舷側に支点を置い てオールを漕ぐので後ろ向きに進むが,カヌーやカ ヤックは両手でパドルを使い前に進むので,進む方 向が良く見え,気持ちがいい.

カヤックには、旋回性能に優れ丈夫で、川の激流を移動するスポーツを目的にしたものと、方向安定性に優れ、荷物や連れの人を載せる広さのあるツーリングを楽しむものとがある。私は迷いもなく後者を選び、コンパクトに畳めるフォールディング・カヤックを購入した。フォールディング・カヤックは組み立て式でアルミのフレームとゴム張り布製のスキンを持ち、図2のような長さ約1m、重さ30kg



図2 バッグ

弱のパッケージに収まる.これだと,車のトランクに楽に入るし,キャリヤに載せてどこにでも持っていける.

# 2. 游び方

#### 2.1 メイキング

フォールディング・カヤックは, バッグから部品 を取り出し, 図3のように, まずアルミのフレーム を組むところから始まる.

骨組みのアルミパイプは1m程度の長さに分けられ、これをつないで1本の棒にする。これらのパイプ部品の中にはゴムひもが通っており、一つなぎになっている。実はこれをショックコードといい、外国の発明であることを昔資料で見て知っている。棒を伸ばして振ると、ゴムひもに引かれて接合部がはまり。自然にパイプが繋がる。分解するときもばらばらにならない。うまく考えたものだ。

次に, 前後にフロートを入れてシートをつけると

骨組みが完成する.そのあとスキンをかぶせる.このとき,艇尾のパイプをてこにしてスキンを引っ張り,きっちりスキンをかぶせ,チャックでデッキを閉じる.この後,両舷内側の空気袋を膨らませて完成となる.パドルとライフジャケットは忘れず持っていかなければならない.

# 2.2 漕ぐ!!

パドリングは難しくない.図4に示すように,両手でハドルを持つが,利き手でシャフトをしっかり 摑み,もう一方はシャフトが手の中で回転するように緩く摑む.こうすることで自然とブレードの向きがこぐ方向に調整される.後はクロールの要領で艇の左右を交互に漕げばよい.艇の進行方向は安定しないので,右と左の漕ぐ強さで方向を調整しながら漕ぐ.

推進力はシートと足で船体に伝える.ひざをカヤ





図3 カヤックの組み立て

ックの側壁に内側から当てることによって,体を船体にしっかり固定する.一体化して船体を操りやすくなる.

#### 2.3 楽しむ

パンとドリンクを持ち込み、お尻から滑り込むように乗り込む、ハドルで岸を押すと、スーっと岸を離れる。期待が膨らむ何ともいえない瞬間である。沖に出て朝食をとる。景色を眺める。風を感じる、水に手を触れる。何にも拘束されない自由な時間。ゆったりと流され、対岸目指して力漕する。水鳥を追いかけ、モーターボートが立てた波を超える。これが楽しくてやめられない。ネッ。

# 3. いろいろな楽しみ

#### 3.1 波

今日はベタなぎ、普通、湖面には縮緬のような小さな波がたくさんあり、それにうねりが重なるが、図5のように今日は小波が無く、のっぺりしたうねりだけがある、湖面に対岸の景色が映り、空の反射とまだら模様になり、水銀の海に浮かんでいるようだ、水の深さを感じない、水面を歩けるような錯覚に陥る、光が横にすばやく流れてくる。なんだか不思議な気分だ、水面には雲がくっきり写り、船首には細かな水切り波が鮮明に見える。

別の日、牧水泳場から長命寺沖を経て沖島まで往復した.かなり長距離(直線距離で12km)で、3



図5 なぎの湖面

時間かかった.途中カヤックに乗っている人から声をかけられ、水上スキーの若い人からも声をかけられた.往きは風がかなりあったが、帰りは微風になった.水面はおおきなうねりに細かいちりめん皺状のさざなみが重なっているが、風が凪ぐと、小波が滑らかになって、平織りの布目のようになり、さらに笑窪のようなディンプル(凹み)になる.太陽のほうを向くと、水面が白く反射し、反対側を向くと深緑の湖水に白い反射が走っていくようだ.波の表情は時々刻々変わっていく.

#### 3.2 ビワッシー?

今日,不思議なものを見た. 烏丸半島の南西 200 m のところでくつろいでいた. すると, 右舷 50 m の水中を何かが高速で移動して大きな波を立てているのを発見した. 時々波間から鰭かゴムの帯のようなものが浮き上がる. 大きさは 10 m を超えるように思われ, 移動速度はカヤックが追いつかないほど速い. なんだろう. え,これってビワッシー?今まで海ではないからサメに食われることも無いと安心して腕を水につけていたが,恐ろしくなった. 水中ロボットだったかもネ.

#### 3.3 ミニ津波?

あるとき、遠くの水面に黒い線が見えた。あんなところに島があったかなと思いながらそちらに近付いていこうとした。しかし、黒い線はこちらに近付いてきているように見えた。なに、ありゃ津波か?そう思ったら一目散に逃げるしかない。しかし黒い線は容赦なく近付いてくる。すると、黒い線がだんだん見えなくなった。黒い線が通過すると思われる時間が過ぎても、何事も無かった。

水面の高さの差を水平に見ると黒い線に見えるが、上から見ると線は見えない。津波はおもに沿岸部で大きな被害を出す。沖合いでは水位の上昇だけだとすれば、もともと水面に浮かんでいる船にはほとんど影響が無いのかも知れない。でも、ほんとに津波だったん?

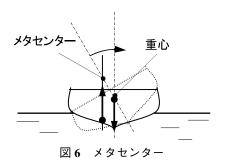
# 3.4 洗

カヤックは機動性と引き換えに安定が悪い.スポーツ系のカヤックでは体と船体をゴムのカバーでつないで浸水しないようになっているため,転覆したときはゴムカバーをはずして必死で脱出するか,ハドルを使ってそのまま起き上がるという高等技術を使わなければならない.フォールディング・カヤックはゴムのシートでカバーしないので,自然にそのまま放り出される.したがって高等技術は必要ない.艇を起こし,バランスをとりながら乗り込み,反省しながらそっと水を掻き出す.

# 3.5 メタセンター

カヤックの喫水(船体に対する水面の位置)は以外に低く、人が乗ると重心位置が高くなるので、転覆しそうに思える.しかし、メタセンターという巧妙な原理で船は転覆を逃れているのである.

船体の安定はメタセンターより重心が低い位置にあることによる復元力で保たれている。浮力の中心は船体が排除した水の体積の中心に上向きに作用する。浮力の中心が重心より低い位置にあると転倒しそうに思えるが、図6に示すように、船体が傾くと船が排除する水の形状が変わるため、浮力の中心が外側に移動する。このため復元モーメントが働くのである。船体が傾いたときの浮力のベクトルと船の中心線との交点をメタセンターといい、メタセンターより重心位置が低ければ転覆しない。また、メタセンターが適当な高さになるように船底の形状を設



計する.

こんなことを考えながら油断していると、すぐに 転覆し沈する(実際は浮き袋のおかげで逆さになっ ても浮いている).ご用心,ご用心.

#### 3.6 ×

琵琶湖大橋から南では、水は少し汚れている.流れのある中央では水はきれいだが、湖岸の付近ではやはりきれいとは言えない.浅いところでは藻がたくさん生えていて、水の流れが分かる.毎秒20cm程度の流れがあるところが多い.のんびり景色を見ていると気づかないが、水の流れによって着実に運ばれていている.鯉ヘルペスが猛威をふるっていたころ、図7に示すように、大きな鯉が何匹も死んで浮かんでいることがあった.川の水は汚れていることが多い.

国道 161 号線を北に上り、近江舞子を過ぎて北小松あたりにちょっとした浜がある。このあたりは水がとてもきれいで、浜近くは湖底が見える。山が近いため山の景色を反映し、水の色が濃い緑茶の緑色をしていて、とても美しい。

# 3.7 風

風があると艇が横を向く.風が強いと艇の向きが 自由にならない.岸に平行に行きたいのに沖を向 く.こんなときはあきらめて岸に上がるしかない.

風がないときは、暑い. 照り返しもあって暑~い. 帽子に水を汲んで頭にかぶる. 膝に水を掛け



図7 犠牲者

る.濡れた手で顔をなでると,しょっぱい.涼しい そよ風が吹くとほっとする.

# 3.8 光

風いでいる晴れの日に水面を見ると、光が水中から放射状に反射しているように見える。船が移動するにしたがって、反射光も移動する。万華鏡のように形が変化する訳ではないが、七色の光の筋が広がり、幻想的だ。

#### 4. おすすめスポット

近江八幡休暇村の宮ヶ浜水泳場は駐車場も大きく、水や景色がきれいで、向かいに沖島がある。牧水泳場はその南で、長命寺や西の湖が近い。琵琶湖博物館北の駐車場からは烏丸半島の北側で蓮の群生地があり、ここから Biyo センターを経て帰帆島北橋までは多くの公園が続いていて湖岸も美しい。帰帆南橋からは近江八景の一つである帰帆島が一周できる。

湖西では膳所城跡公園南から近江大橋を経て大津

湖岸なぎさ公園にいたる. なぎさ公園からは遊覧船 ミシガンが停泊している浜大津の大津港や琵琶湖疏 水の入り口に接近できる. 堅田の北, 和邇浜は河口に水泳場があり, 釣り人が多い. 北小松から北上すると白鬚神社の赤い鳥居が琵琶湖の中に立っていて, 鳥居を通して神社が拝める. 今津浜は水がとても透明できれいだが, 沖合いから高い波が来る. マキノ町高木浜からは奥琵琶湖のキャンプ場などを見て回ることができる.

# 5. やってみたい方へ

フォールディングカヤックのセットは 25 万円で買った.登録,資格,免許等は全く必要ないので,道具があり移動手段があれば,いつでもどこでも無料で遊ぶことができる.近江八幡の国民宿舎でカヤックの入門教室があり,私も受講したが,必ず受けなければならないものではない.ただし,安全のためにライフジャケットは必ず着用しなければならない.スポーツ系を目指すなら,しかるべき講座を受けたほうがいい.



琵琶湖疏水入口



近江大橋



遊覧船ミシガン



大津港の噴水



白鬚神社の鳥居 図 8 各地の風景



奥琵琶湖のキャンプ場

# 6. 豆知識

交通手段として、船は車や鉄道や飛行機よりもずっと昔からあり、発達してきた.したがって、交通機関やその他に関する用語には船舶用語から転用したと思われるものが多い.

パイロット (水先案内人), ナビゲータ (航海者), ステアリングホイール (操舵輪), デッキ (甲

板), コックピット (操舵室), ロール回転 (横揺れ), ピッチ回転 (頭上げ下げ), ヨー回転 (左右振り), コンボイ (護送船団, トラック輸送隊), オンボード (搭載), アンカー (錨), フラグシップ (旗艦, 代表的製品), マスト (帆柱), キャプスタン (巻きろくろ, テープ送り軸), フェアウェイ (航路)・・・

# SSL/TLS の手軽な利用

# 芝 公 仁 Masahito SHIBA

理工学部情報メディア学科 助教 Assistant Professor, Department of Media Informatics

# 1 はじめに

Public Key Infrastructure (PKI) は、公開鍵暗号技術を使用して安全な通信を実現するための基盤であり、信頼できる第三者を用いてユーザの身元を確認する仕組みを実現します。このような仕組みは、電子商取引を行うために重要なものであり、インターネットを利用したオンラインショッピングなどで、(意識することは少ないかもしれませんが、)多くの人が利用しています。PKIにおいて安全な通信を実現しているのは、Secure Sockets Layer (SSL)/Transport Layer Security (TLS)と呼ばれる通信プロトコルです。

PKI や SSL/TLS に関しては、本や雑誌、Web で 多くの情報を得ることができます。しかし、多くの 記事は次のいずれかを主な目的としており、個人で 作成・使用するアプリケーションに安全性を加えた いと考えている人は、難しいと感じてしまうことが あるかもしれません.

- 暗号化・復号化の方法や安全性に関する理論的 な解説
- 認証局の運営方法や、著名な認証局の署名を用いたサーバの運営方法

PKI で重要になる公開鍵暗号方式では、鍵のペア

の作成やそれらの鍵を使用した暗号化や復号化に, 非常に複雑な演算が必要になります。その詳細を理解するには,難しい数学の知識や,ビット演算のような計算機での数値の扱いに関する知識が必要になります。また,安全性の検証には,より高度な知識が必要です。理論を理解しプログラミングすることは難しいうえ,それができたとしても,実際のシステムに適用し運用する際には,さらに別の知識が必要になります。

理論的なものではなく、電子商取引や企業内システムなど、実際のシステムの運用に関して解説している記事もあります。しかし、扱うシステムが比較的大規模であり、通信する2つのホストを管理するだけではなく、認証局の設置や署名の作成など、運営方法が複雑な環境を対象としています。個人で手軽に安全な通信を行いたい場合などにはこのような環境は不要ですし、システムの複雑化によってバグやミスの発生する可能性が高まることは、安全性の実現にとって好ましいことではありません。

本稿では、次の2点について述べることで、多くの記事では主なテーマとして取り上げられることの少ない、個人レベルでの安全な通信の実現方法について解説します.

● 個人あるいは信頼できる人や組織内での SSL/

TLS の活用方法

ライブラリを利用した SSL/TLS での通信プログラム

Web でのオンラインショッピングでは、客は利用している店やそのサーバが信頼できるものか否か確認する必要があります。しかし、不特定の人が客となる可能性があるため、店と客がシステム稼働前に予め信頼関係を築いておくことは困難です。PKIでは、認証局と呼ばれる第三者機関を使って、店のサーバは自身の信頼性を客に示します。これに対し、サーバとクライアントの実行が同一のユーザによって行われるのであれば、第三者の助けを借りて信頼関係を築くといったような複雑な処理は必要ありません。また、少数のユーザ内でのみ使用する場合、実世界での信頼関係の上でシステムを稼働させれば、システムが保証しなければならない安全のための処理は単純化されます。

利用者が不特定である環境に比べ、利用者が限られた環境の場合、安全な通信を行うために必要な処理は少なくなり、プログラムの作成も簡単になります。本稿では、SSL/TLSのライブラリを利用した通信プログラムをいくつか示しますが、これら簡単なプログラムを入口とすることで、PKIや SSL/TLSについて理解することが容易になるでしょう。

# 2 SSL/TLS

本章では、SSL/TLS に関して、アプリケーションプログラマとしての視点から特に重要となる次の2点について確認しておきます。

- 暗号化により、通信内容が盗聴されるのを防ぐ
- ・認証により、目的とする相手とのみ通信を行う インターネットなど盗聴の可能性のある通信路を 使用する場合、通信内容を暗号化することは非常に 重要です.PKIで利用される SSL/TLS は、当然の ことながら、公開鍵暗号の機能を持っています.公 開鍵暗号では、公開鍵、非公開鍵となる2つの鍵を 用いて、暗号化・復号化を行います.このとき、一 方の鍵で暗号化したものは、他方の鍵でのみ復号化

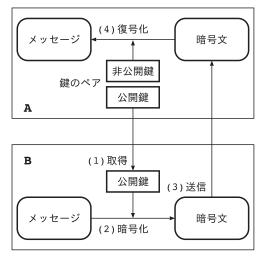


図1 公開鍵暗号

できるといった特徴があります.この特徴により, 暗号を解くための鍵を知らせることなく,通信相手 に暗号化を行わせることが可能になります.

図1は、AがBから秘密のメッセージを取得するときの暗号化・復号化の処理を示しています.このときの処理の流れは次のようになります.

- (1) B が, A の公開鍵を取得する.
- (2) B が, A の公開鍵でメッセージを暗号化する.
- (3) B が, 暗号化されたメッセージを A に送信する
- (4) A が, 受け取ったメッセージを秘密鍵で復号 化する.

Bがメッセージの暗号化に使用する A の公開鍵は、他人に知られても問題になりません.誰かが(1)を盗聴し鍵を入手しても、その鍵では(3)のデータを復号化することができないためです.公開鍵暗号より古くから使用されている共通鍵暗号では、暗号化、復号化の両方で同一の鍵が使用されるため、暗号を使用するためには、復号化に関する情報も通信相手に伝えなければなりません.これに対し、公開鍵暗号では暗号化と復号化に使用する鍵が異なり、復号化の鍵を通信相手に教える必要はありません.これが公開鍵暗号の最も重要な特徴だと言えるでしょう.

暗号化によって盗聴を防ぐことと同様に、通信している相手がたしかに目的の相手であるかを確認することも重要です。このような認証の処理は、証明書と呼ばれる、実世界での免許証や保険証に似たものを用いて実現されます。証明書は証明書の所有者や所有者の公開鍵の情報を持っており、通信相手から証明書を取得し、その内容が正しいと検証できれば、間違いなく目的の相手と通信を行っていると判断することができます。

証明書には、証明書の所有者の公開鍵が含まれており、証明書を受け取ったホストはその公開鍵を使うことで、その証明書がたしかに所有者自身から送られたものであることを確認することができます. すなわち、適当なメッセージをその公開鍵で暗号化して送り、それを受け取った者がメッセージを正しく復号化できることを確認できれば、受信者はたしかにその公開鍵に対応する非公開鍵を所有していることが分かります.

ただし、これで確認できることは、通信相手はた しかに証明書の所有者だということのみです. 証明 書はだれもが作成できるものであり、その内容を信 用するか否かの判断が別途必要です. たとえば、龍 谷大学の Web サーバは、龍谷大学の証明書を持っ ていますが、 龍谷大学の証明書は誰でも簡単に作る ことができます. 受け取った証明書を信頼するか否 かは、誰が証明書を発行したのかの情報をもとに判 断することができます. すなわち, 信頼できる者が 発行した証明書はその内容も信頼することができる という考え方です. WWW のオンラインショッピ ングサイトなどは、Web ブラウザのユーザの多く が(意識して,あるいは,意識せずに)信頼してい る認証局が発行した証明書を使用しています. すな わち、通信相手が信頼する第三者機関を利用するこ とで, 自身の証明書の信頼性を示しているのです. 本稿では、個人で SSL/TLS を活用した通信を行う ことを目的としているため, 第三者機関を利用した サーバの運営などに関して詳しく述べることはしま せん. PKI に関する資料の多くがこれを主要なテー

マとして解説していますので、詳細に関してはそれらの資料を参考にしてください.

# 3 SSL/TLS ライブラリ

SSL/TLS で通信を行うアプリケーションを作成する際は、既存のライブラリを利用するとよいでしょう. 独自に SSL/TLS を実装することも可能ですが、SSL/TLS のアルゴリズムを実際にプログラミングすることはたいへん難しく、もしバグなどがあれば、通信の安全が損なわれる可能性があります.

SSL/TLS の代表的なライブラリとして、OpenSSL<sup>[1]</sup>があります。OpenSSL は、C 言語から利用できるライブラリであり、Socket ライブラリとともに使用することで、SSL/TLS を用いた通信を行うプログラムを作成できます。OpenSSL に関する書籍はあまり多くはありませんが、「OpenSSL暗号・PKI・SSL/TLS ライブラリの詳細」<sup>[2]</sup>では、ライブラリだけでなく、証明書管理などのツールに関しても解説されており、OpenSSL を用いたアプリケーションの作成には役立つものでしょう。

また、Java では、JSSE (Java Secure Socket Extension) [3] と呼ばれるパッケージが SSL/TLS の機能を提供しています。JSSE は、J2SDK に含まれるようになりましたし、積極的に使うことのできるパッケージであると考えてよいでしょう。JSSE に関しては、J2SDK とともに配布されている文書にリファレンスガイドや API 仕様が含まれているため、これが最も良い資料となるでしょう。しかし、JSSEを使ったプログラミングの経験がない場合、これらの文書だけでは難しいかもしれません。そのような場合には、本稿にあるプログラム例など実際のソースコードが理解の助けになるでしょう。

SSL/TLS は、Web サーバと Web ブラウザ間の通信を暗号化する HTTPS の形で利用されることが多いという実態があります.そのため、Perl、Ruby、JavaScript など多くのプログラミング言語は、HTTPS で Web サーバと通信するためのより高度なライブラリ(あるいは機能)を持っています.単に

Web サーバのクライアントとして SSL/TLS を用いるのであれば、これらのライブラリを活用するとよいでしょう. Java のクラスライブラリにもこれに相当するものがありますが、次章ではこれを使ったプログラム例を示します.

# 4 証明書の実際

証明書は安全な通信を実現するために用いられていると述べましたが、本章では、実際に使用されている証明書の内容について確認していきます。 図 2 は、Web サーバから証明書を取得しその内容を表示する Java プログラムです。CertificateInfo の実行には、図 3 の Launcher.java を用います。Lanuncherを -ci オプションを付けて実行すると、Proxy を設定した後、CertificateInfo オブジェクトを生成し、当該オブジェクトの start() メソッドを呼び出します。

Web サーバへ接続し証明書を取得する処理は, CertificateInfo.java の 12 行目から 15 行目の部分で す. まず, プロトコル「https」とサーバ「www. ryukoku.ac.jp」を指定して, java.net.URL オブジェ クトを作成します. 本オブジェクトの openConnection() メソッドを使用すると、Web サーバとの通 信を管理するオブジェクトを得ることができます. この場合、HTTPS を使用しているため、javax.net. ssl.HttpsURLConnection クラスのオブジェクトが得 られます. このオブジェクトの connect() メソッ ドを呼び出すと、実際にサーバと接続し、証明書の 受け取りなど SSL/TLS のハンドシェイクを行うこ とができます. CertificateInfo.java を見れば分かる ように、HTTPS、SSL/TLS の処理のほとんどが隠蔽 されており、非常に簡単に通信処理を記述すること ができています.

17 行目から 32 行目では、サーバから取得した証

```
1: package my;
 2:
 3:
     import java.net.URL;
     import java.security.cert.Certificate;
import java.security.cert.X509Certificate;
 5:
 6:
 7:
     import javax.net.ssl.HttpsURLConnection;
 8:
 9:
     public class CertificateInfo {
10:
           void start() {
11:
                try {
                     URL url = new URL("https://www.ryukoku.ac.jp/");
12:
13:
                     HttpsURLConnection connection = (HttpsURLConnection) url.openConnection();
14:
15:
                     connection.connect();
17:
                     for (Certificate c : connection.getServerCertificates()) {
                          X509Certificate x509 = (X509Certificate) c;
18:
19:
                          System.out.println("Type:\n " + c.getType());
20:
                          System.out.println(x509.getPublicKey());
21:
                         System.out.println("Subject:\n " + x509.getSubjectX500Principal()
System.out.println("Issuer:\n " + x509.getIssuerX500Principal());
System.out.println("Date of validity:\n " + x509.getNotBefore() +
                                                                 " + x509.getSubjectX500Principal());
22:
23:
                                                                             " + x509.getNotBefore() + "\n "
24:
25:
                                              + x509.getNotAfter());
                          System.out.println("Signature algorithm:");
System.out.println(" " + x509.getSigAlgName());
26:
27:
28:
                          System.out.print("Signature:\n
                          for (byte b : x509.getSignature())
29:
                              System.out.printf("%02x", b);
30:
                          System.out.print("\n\n");
31:
32:
33:
                } catch (Exception e) {
34:
                     e.printStackTrace();
35:
36:
           }
37: }
```

**図 2** CertificateInfo.java

```
1: package my;
 2:
 3:
     public class Launcher {
 4:
          private static final int port = 16000;
 5:
 6:
          public static void main(String[] args) {
               if (args.length >= 1) {
 7:
                    if (args[0].equals("-ci")) {
 8:
                         System.setProperty("https.proxyHost", "cache.st.ryukoku.ac.jp");
System.setProperty("https.proxyPort", "8080");
 9:
10:
11:
12:
                         new CertificateInfo().start();
13:
                         return;
14:
                    } else if (args[0].equals("-s")) {
                         System.setProperty("javax.net.ssl.keyStore", "keystore");
System.setProperty("javax.net.ssl.keyStorePassword", "passwd");
15:
16:
17:
18:
                         new Server().start(port);
19:
                         return;
20:
                    } else if (args[0].equals("-c")) {
                         System.setProperty("javax.net.ssl.trustStore", "truststore");
21:
22:
23:
                         new Client().start("localhost", port);
24:
                         return;
25:
                    }
26:
              }
27:
          }
28: }
```

#### **図3** Launcher.java

```
% java my.Launcher -ci
Type:
     x.509
Sun RSA public key, 1024 bits
     \verb|modulus:| 1226438623603649525354044080065784240807820766932735871620261133225057159645977| | 1226438623603649525354044080065784240807820766932735871620261133225057159645977| | 1226438623603649525354044080065784240807820766932735871620261133225057159645977| | 1226438623603649525354044080065784240807820766932735871620261133225057159645977| | 1226438623603649525354044080065784240807820766932735871620261133225057159645977| | 1226438623603649525354044080065784240807820766932735871620261133225057159645977| | 122643862360766932735871620261133225057159645977| | 122643862360766932735871620261133225057159645977| | 122643862360766932735871620261133225057159645977| | 122643862766932735871620261133225057159645977| | 122643862766977| | 122643862786767| | 122643862766977| | 1226438627867| | 1226438627867| | 1226438627867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 122643867| | 1226457| | 1226457| | 1226457| | 1226457| | 1226457| | 1226457| | 1226457| | 1226457| | 1226457| | 1226457| | 122647| | 122647| | 122647| | 122647| | 122647| | 122647| | 122647| | 122647| | 122647| | 122647| | | 122647| | | 122647| | | 122647| | | 122647| | | | | | | | | 
                               1199986585073319382579751145027821553106787939873886672814545483409364189171011\\
                               public exponent: 65537
Subject:
    CN-www.ryukoku.ac.jp, OU-President Office, O-Ryukoku University, L-Kyoto, ST-Kyoto, C-JP
Issuer:
     OU=Secure Server Certification Authority, O="RSA Data Security, Inc.", C=US
Date of validity:
     Mon May 15 09:00:00 GMT+09:00 2006
      Thu May 15 08:59:59 GMT+09:00 2008
Signature algorithm:
      SHA1withRSA
Signature:
      3c271f7fa539695fd7842fd23b0fcc3dd80e5c9a70fe8aa084a5b0e4809c8de5ef8cf7fe03bc4f984bb443c0
      a74f536fe77c2285b31e06420d4d530f33ec9422abeeb0d8d963ee6e3b88a7695fad0699bf
```

### 図4 CertificateInfoの実行例

明書の内容を表示しています. HttpsURLConnection オブジェクトは, サーバとのコネクションを管理しており, getServerCertificates() メソッドを用いることで, サーバから取得した証明書のリストを得ることができます. Java では, 証明書は java.security.cert.Certificate クラスで管理されますが, 特に, SSL/TLS で利用されている X.509 の規格の証明書は, 当該クラスを継承した java.security.cert.X509Certifi-

cate クラスで管理されます. X509Certificate クラスは,管理する証明書を操作するためのメソッドを持っており, CertificateInfoでは, これらのメソッドを用いて証明書の情報を得ています. たとえば, get-PublicKey() は証明書内の公開鍵を得るメソッドです. また, getSubjectX500Principal(), getIssureX500Principal()は, 証明書の被認証者,発行者の識別名を得るためのメソッドであり,実行結果(図4)

では「www.ryukoku.ac.jp」の文字列を確認できま す. すべての証明書には有効期間がありますが、こ れは getNotBefore() メソッドと getNotAfter() メ ソッドで調べることができます. また, getSigAlgName() メソッド, getSignature() メソッド で、署名アルゴリズム、シグニチャーを取得するこ とができます. 実行結果とソースコードを合わせて 確認すると、証明書の情報を得る方法や、実際の証 明書の内容がどのようなものであるかを理解できる でしょう.

# 5 Java での証明書の管理

前章では実際に使われている証明書の内容を確認 しましたが, 本章では証明書を新たに作成する手順 について述べます. Java では、キーストアで証明 書や鍵の管理を行います.多くの場合,キーストア の実体はファイルであり、このファイルは、JDK に含まれる keytool コマンドで操作することができ ます.

keytool にはいくつかのサブコマンドがあり、図

% keytool -genkey -keystore keystore \ -storepass passwd -keypass passwd\ -dname "cn=Duke, ou=Creature, o=Java" % keytool -list -v -keystore keystore \ -storepass passwd

Keystore type: jks Keystore provider: SUN

Your keystore contains 1 entry

Alias name: mykey Creation date: Jul 8, 2007 Entry type: keyEntry Certificate chain length: 1 Certificate[1]:

Owner: CN=Duke, OU=Creature, O=Java Issuer: CN=Duke, OU=Creature, O=Java

Serial number: 4690919d

Valid from: Sun Jul 01 00:00:00 GMT+09:00 2007 until: Sat Sep 29 00:00:00 GMT+09:00 2007

Certificate fingerprints:

MD5: D2:58:8D:38:B6:2E:67:7E:4E:13: 18:30:D0:58:A0:CB

SHA1: D3:FF:92:B0:54:D2:96:27:2C:16: 5F:E4:45:27:37:5C:34:37:57:D2

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* 

図5 証明書の生成

5では、-genkey サブコマンドで鍵と証明書を生成 し、-list サブコマンドでそれらの内容を確認して います. -keystore はキーストアファイルを指定す るオプションで,ここでは keystore を指定してい ます. また、キーストアやキーストア内の非公開鍵 はパスワードによって保護されますが、-storepass と -keypass でこれらのパスワードを指定していま

-genkey サブコマンドで生成された公開鍵は、自 己署名証明書でラップされます. 自己署名証明書 は、証明書の発行者と認証される主体が同一である 証明書のことです. 発行者や被認証者は, -dname オプションで指定されているような形で表現されま す. (ここでは「Duke」の証明書を作成しています が、誰もが任意の名前で証明書を作成できるという 点には注意が必要です.)これは識別名であり、適 切に識別できるものであることが求められます. ま た. 証明書生成時には有効期間を指定していません でしたが、-list サブコマンドで、内容を確認する と、証明書の有効期間が、デフォルトの値を用いて 自動で設定されていることが分かります.

keystore には、証明書だけではなく、それに対応 する非公開鍵が含まれています. 非公開鍵は暗号化 されたデータの復号化に使われるものであり、他人 に知られないようにする必要があります. したがっ て、他人に証明書を示すために keystore を配布す

```
% keytool -export -keystore keystore \
    -storepass passwd -file tmp
Certificate stored in file <tmp>
% keytool -import -keystore truststore \
    -storepass passwd -file tmp
Owner: CN=Duke, OU=Creature, O=Java Issuer: CN=Duke, OU=Creature, O=Java
Serial number: 4690919d
Valid from: Sun Jul 01 00:00:00 GMT+09:00 2007
     until: Sat Sep 29 00:00:00 GMT+09:00 2007
Certificate fingerprints:
               D2:58:8D:38:B6:2E:67:7E:4E:13:
                18:30:D0:58:A0:CB
         SHA1: D3:FF:92:B0:54:D2:96:27:2C:16:
                5F:E4:45:27:37:5C:34:37:57:D2
Trust this certificate? [no]: yes
Certificate was added to keystore
% rm tmp
```

図6 配布用ファイルの作成

ることはできません. 証明書を配布できるようにするためには、図6のように、証明書だけを持つファイルを作成します.

-export サブコマンドは、キーストアから証明書を取り出します.取り出した証明書は、-file オプションで指定されているファイルに出力されます.また、-import サブコマンドで証明書をキーストアファイルに挿入します.ここでは、信頼できる証明書を保持するトラストストアのファイルとしてtruststoreを使用しています.

以上で,証明書とそれに対応する非公開鍵を保持する keystore と,証明書を保持する truststore を作成することができました.次章では,これらのファイルを用いて安全に通信を行う方法について述べます.

# 6 SSL/TLS を用いた通信プログラム

Server.java (図 7) と Client.java (図 8) は、SSL/TLS を用いて通信を行うプログラムです.これらは、図 9 のように証明書を用いた認証.メッセージ

の送受信を行います.

Server クラスの実行には、Launcher を -s オプションを付けて実行します.このとき、Launcher は、サーバを実行するためのプロパティを設定した後、Server オブジェクトを生成し実行します. Launcher.java の 15 行目で設定している javax.net.ssl. keyStore は、自身の証明書を保持するキーストアファイルを指定するプロパティです.また、次の行で設定している javax.net.ssl.keyStorePassword は、キーストアファイルのパスワードです.ここでは、キーストアファイルとして、前章で作成した keystore を使用します.

また、Launcher を-c オプションを付けて実行すると、Client クラスを実行することができます. クライアントの実行では、プロパティ javax.net.ssl. trustStore で、信頼する証明書を保持するトラストストアを指定します. ここでは、前章で作成したtruststore を使用しますが、このファイルを入手できる者だけが、Client クラスを正しく実行できることになります. 想定される環境としては、Server も

```
1: package my;
2:
     import java.io.IOException;
3:
4:
     import java.io.InputStreamReader;
5:
6: import javax.net.ssl.SSLServerSocket;7: import javax.net.ssl.SSLServerSocketFactory;
8: import javax.net.ssl.SSLSocket;
9:
10: public class Server {
11:
         void start(int port) {
12:
             char[] buf = new char[1024];
13:
             SSLServerSocketFactory sslSrvFact = (SSLServerSocketFactory) SSLServerSocketFactory
14:
15:
                               .qetDefault();
16:
                  SSLServerSocket ss = (SSLServerSocket) sslSrvFact.createServerSocket(port);
17:
18:
                  while (true) {
                      SSLSocket s = (SSLSocket) ss.accept();
19:
20:
21:
                      InputStreamReader is = new InputStreamReader(s.getInputStream());
22:
23:
                      is.read(buf);
24:
                      System.out.print(buf);
25:
                      s.close();
26:
27:
              } catch (IOException e) {
28:
                  e.printStackTrace();
29:
30:
         }
31: }
```

図7 Server.java

```
1:
    package my;
2:
     import java.io.IOException;
3:
 4:
     import java.io.OutputStreamWriter;
5:
     import java.security.cert.Certificate;
 6:
     import java.security.cert.X509Certificate;
7:
8:
     import javax.net.ssl.SSLSession;
     import javax.net.ssl.SSLSocket;
9:
10:
     import javax.net.ssl.SSLSocketFactory;
11:
12:
     public class Client {
         void start(String host, int port) {
13:
14:
             SSLSocketFactory sslFact = (SSLSocketFactory) SSLSocketFactory.getDefault();
15:
16:
             try
17:
                 SSLSocket s = (SSLSocket) sslFact.createSocket(host, port);
18:
19:
                 SSLSession ss = s.getSession();
20:
                 Certificate[] certificates = ss.getPeerCertificates();
21:
                 for (Certificate c : certificates) {
22:
                     X509Certificate x509 = (X509Certificate) c;
23:
                     System.out.println(x509.getSubjectX500Principal());
24:
25:
26:
                 OutputStreamWriter os = new OutputStreamWriter(s.getOutputStream());
27:
                 os.write("hello\n");
28:
29:
                 os.close();
30:
             } catch (IOException e) {
31:
32:
                 e.printStackTrace();
33:
34:
         }
35: }
```

図 8 Client.java

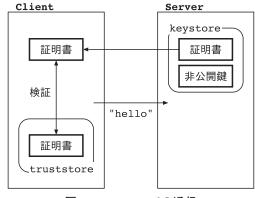


図9 SSL/TLS での通信

Client も同じ人が動作させる,あるいは,実世界で信頼し合う二人が証明書を共有し,一方が Server を他方が Client を動作させるといったものになるでしょう.すなわち,本稿で目的としている,サーバもクライアントも個人レベルで作成・実行するような環境での SSL/TLS の利用となります.

Java では、javax.net.ssl パッケージに含まれる SSLSocket クラスと SSLServerSocket クラスを利用 することで、簡単に SSL/TLS を用いた通信を行うことができます.これらは、java.net パッケージに含まれる Socket、ServerSocket のサブクラスであり、Java でソケットを用いたプログラムを書いたことのある人であれば、簡単に使用することができます

前章で作成した証明書は、図9のように利用されます。すなわち、Server は、keystore から証明書を取り出し、Client からの要求に応じて、証明書を Client に渡します。一方、Client は、受け取った証明書と、信頼できる証明書を保持する truststore 内の証明書を比べ、Server が信頼できるか否かを判断します。

これら証明書の検証など SSL/TLS のハンドシェイクはライブラリが自動的に行うため、プログラム

作成時には SSL/TLS の処理を意識する必要はありません. SSL/TLS 固有の情報を調べたい場合は, SSLSocket オブジェクトの getSession() メソッドを用いて,セッション情報を管理する javax.net.ssl. SSLSession オブジェクトを取得する必要があります. Client では, SSLSession オブジェクトの getPeer-Certificates() メソッドを用いて,サーバから送信された証明書を取得し,その内容を表示しています. 証明書の内容を表示する手順は, CertificateInfoと同様です.

本プログラムのメッセージの送受信部分は非常に 簡単です。Client は、文字列「hello」を Server に 送信した後、コネクションを切断し、そのまま終了 します。Server は、クライアントからメッセージを 受け取りそれを表示するといった処理を繰り返しま す。これらメッセージ送受信の処理に関しては、 Socket、ServerSocket を用いたときと全く同様にプロ グラムを書くことができます。

本プログラムでは、Client は、証明書を利用して接続相手が Server であることを確認していますが、Server は、接続してきた相手がたしかに Client であるかを確認していません。本稿では省きますが、SSL/TLS では、Server の認証と同様に、Client の証明書を作成することで、Client の認証を行うことも可能です。また、SSL/TLS の機能を使うのではなく、パスワードを用いてクライアントを認証す

る機能を独自に作ることも可能でしょう. SSL/TLS で盗聴を防ぐことができるため, パスワードによる 認証の仕組みは比較的簡単に実現することができます.

# 7 おわりに

本稿では、あまり取り上げられることのない、個人での SSL/TLS 技術の利用について述べました。簡単なサーバ・クライアントのプログラムで示したように、現在では優れたライブラリがあるため、安全な通信を行うプログラムを簡単に作成することができます。むしろ、鍵のペアや証明書の作成の方が難しいかもしれません。個人的に使用する環境であれば、本稿で取り上げた範囲の知識だけで、証明書を活用した安全な通信を行うことができます。PKIは複雑な概念ですが、このような単純な環境に SSL/TLS を適用することからはじめると、理解が容易になるでしょう。

#### 参考文献

- [1] OpenSSL: The Open Source toolkit for SSL/TLS: http://www.openssl.org/
- [2] John Viega, Matt Messier, Pravir Chandra, 齋藤孝道 (監訳): OpenSSL 暗号・PKI・SSL/TLS ライブラ リの詳細, オーム社, 2004.
- [3] Java Secure Socket Extension (JSSE): http://java.sun.com/products/jsse/

# 映像の言語と文法(6)

──言語・文法の自律と言語・文法能力獲得へのミラーニューロン・音楽の関与─

熊 野 雅 仁 Masahito KUMANO

理工学部電子情報学科 実験助手 Laboratory Assistant, Department of Electronics and Informatics



# 1 はじめに

古来から、何を言語に含めるか、その境界線は揺らいできた。例えば隠喩は、言語表現というよりも詩的表現だとか、Aristoteles 以来の伝統的隠喩論で、文学的な言葉の綾(文章技法)であり、日常生活の用法から逸脱した非日常的表現とされ、言語の周辺に追いやられていた[1]. つまり隠喩は言語の本流には含まれなかった。連載2回3.9では、モンタージュ理論の代表とされる Eisenstein の映画が隠喩型、アメリカ映画の父とされる Griffith の映画が換喩型とする Jakobson(1956)の視点を紹介した。それに従い、仮に映画や映像の意味伝達の本質が比喩にあるのなら、映画や映像の意味伝達が周辺的に扱われてもしかたない。

実は、生成文法論(連載4回4)でも、言語能力の解明を言語学の仕事とし、言語運用の側面を言語構造の記述から除外する立場から、隠喩や換喩の分析を排除している。なぜなら、隠喩や換喩は、連想が言語に投影されたものであり、ヒトの認知能力や認知機能の産物であって、それらを言語運用の側面と見なすからである<sup>[2]</sup>。この生成文法論では、文法に自律性があるゆえに、ヒトの認知機構・意味から独立できるとする、文法のモジュール仮説に立つ。

一方, Richards (1936) や Black (1979) による 認識論との関連で隠喩が捉え直され、新しい光が当 てられたこの二人の隠喩論が、1970年代や80年代 に萌芽が見られ、勢力を拡大しつつある認知言語学 において、意味論進展の柱となる[1,3]。認知言語学 における隠喩論は、1. 隠喩の本質は、単にことば の綾などの問題ではなく、ある概念領域を別な概念 領域でもって理解するという、我々の一般的な認知 の営みにある. 2. 我々の概念体系の多くは隠喩に よって構成されており、これが言語表現としての隠 喩を可能とし、我々の行動様式に影響を与える. 3. 隠喩は単なることばの飾りや詩的表現などでは なく,広く日常言語に見られるものである,等を主 要な論点とする[1]. 認知言語学では、言語の構造と 機能を認知の進化論的積み重ねの基盤として動機づ け、言語は、主体の身体や認知の機構と切り離せな いとし、自律性を否定する、また実際の言語現象 は、規則や原理からなる記号系という観点や方法論 だけでは説明不可能であり、言語はなぜ今の姿にあ るのかという問いに答えようとする立場に立つ[1]. 本稿では、前回に引き続き、脳・知・言語の起源・ 進化の話題にふれながら、言語・文法の自律性と、 言語・文法能力獲得へのミラーニューロン・音楽的 素質の関与についてもう少し紹介しておこう.

# 2 言語・文法は自律するか?

# 2.1 言語の自律性

自律性とは、他からの支配や助力を受けず、自身の立てる規律に従い行動する性質である。言語学が自律性を意識し始めたのは現代言語学以前の19世紀比較言語学においてだという<sup>[4]</sup>.

当時、言語はヒトの社会生活のあらゆる側面を反映・左右するとし、その機構を分析する社会学的言語学や、言語をヒトが文化遺産を生み出す機構を分析する人文学的言語学を含め、ヒトと言語は切り離せないと考えられた。その中で、インドとヨーロッパの祖語が同じであるという発見を契機とする比較言語学の方法論が、他の個別言語にも適用できるという普遍性をもつ性質が明らかとなる。これは、対象言語の話者達の文化、社会、信念、個性など言語の多様性のしがらみを断ち切る普遍的な諸原理の発見につながると考えられ、この頃から比較言語学は、他の言語学とは自律的な言語学を意識し、人文・社会学的要因を言語から追い出すようにもなる.

これは、Saussure 後の構造言語学にも引き継がれる。構造言語学は、いかなる種類のものでも、分析対象の言語を独自の方法で独立した研究対象として研究する。その結果、ラングを統括する諸原理は、自らの力により出現する。これらは社会学、心理学、生理学その他の研究分野で培われた諸原理の反映ではなく、構造分析の所産「文法」を「自律的な実体」とする主張である「4」こうして、構造言語学の影響を受ける生成文法を含めた現代言語学は、おもに文法的な知識の記述と一般化に力点を置いた、社会・文化そして主体からの自律的学問の道を歩み始めた。

# 2.2 ソシュールの記号は主体から自律するか?

言語学や哲学、心理学・精神分析学では、「意味」と並んで「主体」が重要な位置を占めるという。主体とは、話者(聴者)個人のことである。本連載でおなじみの現代言語学の祖、Saussure は、ラ

ンガージュ (連載 2 回 3.2) から個人の発話行為であるパロールを切り離し、言語学の対象を社会共有の構造的諸関係の抽象体系とした。そのためか、言語を哲学的に扱う学者からの「言語から主体を切り離してしまった」との Saussure 批判に対し、立川は、Saussure 研究で知られる丸山圭三郎の言葉を借りて誤解だと、それを否定する[5].

まず、Saussure は、その基本思想として「言語と いうものは存在していない | としているという[5]. 物理的な物体としては存在していないからである. そのままでは存在していないので、何等かの基準を 立てて構築しないと出現しない. 世界に現存する具 体的な多種多様な自然言語を記述し、分析するため の言語理論を構築するには,物理的な音を通じてコ トバを操る「主体」なしに言語は存在し得ない. 音 として伝わるコトバは、母国語を操る「主体」な ら, 意味に基づき音に切れ目を入れて(分節), 言 語の単位を捉えることができる. しかし, その言語 を知らない主体にとっては連続した音の塊にすぎな い. Saussure は、この言語の単位の認定について、 すごく悩んでいたという. 言語の単位とは何だろ う. 単位と単位の切れ目はどうなっているのか. あ る単位とある単位が同じであるとか違うとか言える のは、どうしてか、それが解けた、「語る主体の意 識に与えられたものが言語の単位である」つまり, 主体が意味を了解することで連続体は分節され、は じめて言語の単位が析出される. この単位こそが 「記号」である. それゆえ, ラングは記号のシステ ムとして定義される<sup>[5]</sup>. Saussure にとって記号は 「主体」と共に存在するのである. ただし, Saussure の記号は事物を指示しない。指示するのは観念であ り主体の中にある. Saussure は、記号が認識によっ て現れるとする意味で、認識論に立つと思われる.

一方,主体の背後に存在する身体的な経験を反映 した言語主体の認知能力や運用能力から言語現象の 本質を探究する近年の認知言語学では,言語的知識 の自律性を前提とする言語学に,主体の身体的な経 験や主体と外部世界との相互作用への配慮が欠如し ていると見る<sup>[6]</sup>.この意味で認知言語学も認識論に立つ.反対に,認知脳科学において言語を自律システムとして切り出す努力をしている酒井は,認知言語学が心の一般的なメカニズムの研究に貢献はしているかもしれないが,それは言語の特殊性を明らかにするアプローチではなく,言語の問題を再び複雑な要因にさらし、現象論へ引き戻すと非難する<sup>[7]</sup>.

現象論では、観察された現れの背後にあるものを問題にせず、現れが本当に存在するかどうかなどを問題の対象とするため、現象の羅列は得られても、現象相互の境界や背後に存在する原理などが曖昧なままになりがちである。この点で、認知言語学は、背後にあるものの探求を行う点で現象論的ではないと思えるが、酒井の言うように数多くの要因を取り入れると、問題が漠然化する可能性も確かにある。

#### 2.3 言語は事物へのラベル付け?

Saussure 以前に西欧において支配的だった言語観に、聖書の創世記以来、Descartes やポールロワイヤル論理学を経て、Chomsky に至るまでの言語=名称目録観と呼ばれる考え方がある<sup>[8]</sup>. これは、世界における事物は、人間の言語とは独立にあらかじめ分節されて存在しており、またこれに忠実に対応する(ヒトの外、外界にある)観念というものがあり、言語はこうした事物や観念に名前(ラベル)をつけるに過ぎないという考え方である<sup>[8]</sup>.

一方、Saussure は、この言語観に異議を唱え、言語以前に明瞭に分節された事物や観念の存在を否定した。Saussure は、言語なくしては、観念も音も(そして事物も)明瞭に分節されておらず、星雲のような連続体を成しているに過ぎないと考える<sup>[8]</sup>。認知言語学では、人間の認知能力には知覚、カテゴリ化、記憶、注意、推論などが含まれ、これを言語の本質に関与するものとして位置づけるため、言語が認知機能の一部になるとする<sup>[9]</sup>。そして、ヒトの認知機構こそが世界を分節し、言語を通じて意味を生み出すと考える。これは認識論の一面であり、Saussure と認知言語学はこの点で同じ立場にある。

#### 2.4 文法の自律性と生得性

下記の A は文法(語順)がおかしく,意味も不明である.一方,B は文法上問題ないが,意味は不明である.このように,これらの文は,文法が意味と独立して扱えると,生成文法の自律性を主張した Chomsky の有名な例文である[7].

- A Furiously sleep ideas green colorless. (眠る猛烈に観念緑の無色の)
- B Colorless green ideas sleep furiously. (無色の緑の観念が猛烈に眠る)

Chomsky は、行動主義者 Skinner の「言語行動」に対する書評(1959)で、初めて生成文法のことを認知モデルと呼んだ。言語が複雑であるにもかかわらず、その獲得が驚くほど早い点を指摘した上で、行動主義者達が言う「子供は白紙状態で生まれてくる」を否定し、むしろ、きわめて明示的な方法で言語知識を獲得する遺伝的素質を持つに違いないと結論づけた[4].このプラトンの問題(連載4回4.1)つまり、少ない発話例から文法を再現するためには、ヒトには言語の原形としてのイデア(連載5回4.1)の存在が不可欠と考えたのであり、このイデアこそ、Chomsky が普遍文法と呼んだものに他ならない[10].つまり、文法は主体と自律した外部にではなく、生得的に話者の頭の中にあるとした.

生得性とは、必ずしも遺伝に限らないが、胎児の発達時に獲得されて、生まれた時にすでに備わっている先天的な能力を指す「「」。この点で Chomsky の生成文法は、生得性という意味で、言語をヒトの外に自律するとする自律言語学から、生物学的に言語を主体の中へ引き戻したが、言語能力(普遍文法)を他の認知能力から自律したものと見なす点においては認知言語学と対峙する「の」。また、認知科学では独立して仕事はできる(独立性)が、互いに補い合って働き、処理が自動的に進み(自動性)、必要な入力以外は受け付けないものをモジュールと呼ぶ。文法はそういうモジュール性を持つと Chomsky は

1980 年代から主張している<sup>[7]</sup>. さて,子供は白紙 状態で生まれ,**学習**のみで言語が獲得されるのか. 言語は**遺伝的素質**か.再度脳に近づいてみよう.

# 3 「まねる」とミラーニューロン

#### 3.1 「学習」の語源

学習という日本語の語源について紹介しておく.
「子日 学而時習之 不亦説乎」これは「論語」の冒頭を飾る孔子の有名な文言である.これが今日の「学習」の語源だとされ,この文言に含まれる「学」と「習」の字が用いられた.この論語の解釈については,古来,日本,中国でさえも解釈について賛否両論があるものの,孔子は「怠ることなく絶えず学ぶ」を説いたのだと結論されているという.

さて、「学ぶ」とは、新しい知を得ることであるが、「学ぶ」の語源は「まねぶ(まねをする)」であり、まだ自ら獲得していない知をまねる(模倣)行為によって獲得することなのである。では「習う」の語源だが、優れたお手本を見つけ、何度もまねて体で覚えるまで繰り返し「なれる」のことであり、「学ぶ」を実践することである。つまり語源の持つ学習の意味とは、まねるを繰り返し、なれることで根気強く新しい基礎的な知を獲得することである。

#### 3.2 サルまね

「サルまね」という言葉には単純で主体性や独創性に欠けるといったネガティブな印象がつきまとう。ところで、サルは基本的に模倣ができず、模倣はかなり難しい課題だという[III]。それに対してヒトは模倣する動物だと言われる。ヒトの新生児は誕生直後から模倣を始めるが、これを新生児模倣とい

い、生得的な発現メカニズムを基盤にすることが想定されるようになった<sup>[12]</sup>. 舌を口から突き出す、口をすぼめる、口を大きく開けるといった表情を新生児に繰り返しみせると、新生児も同じ表情をする。こうした対面する他者の表情で誘発される反射が生得的に組み込まれている<sup>[13]</sup>. 種の系統としてヒトに近いのは類人猿のチンパンジーであるが、チンパンジーには若干の模倣がある。しかし新生児模倣は、生後8週齢を過ぎる頃から見られなくなる.

一方,こうした新生児模倣の消失は、ヒトの乳児でも報告されており、生後  $6\sim8$  週頃でいったん消失するが、その後  $8\sim12$  ヶ月頃より再び表情の模倣を行うようになる[11]. つまり「まねる」能力が、ヒトでは拡張・延長されていると考えられる.

# 3.3 ネオテニー(退化は進化?)

ネオテニー(幼形成熟)とは、幼児や胎児に見られる特徴が、成人にも保存されていること、また発育の速度の低下や、さらには生まれ老いる過程での発育の諸段階が延長されることをいう[14]. 例えばサルを含めヒト以外の動物は、成体になるにつれて顎が突き出すように成長する。逆に言えば、多くの動物の幼形は顎が突出しておらず、特にチンパンジーの幼形はヒトの印象に似ている。ちなみに成長とは大きさが増すことであり、発達とは複雑さが増すことである。つまり、ネオテニーとは、ヒトの、この成長過程が退化し、老人までその傾向が維持される点で、幼形が維持されたまま成熟するという仮説である[14]. 例えば表1は、ヒト成人(20代)の脳の重さ1396gを100%として、母胎中から出生後にかけた脳重量の推移と、成人に対する脳重量の比

表1 ヒトとサルの脳の成長									
	母 胎 中				出	生	後		
ヒト	6ヶ月	前3ヶ月	出生	6ヶ月	1年	2年	3 年	5年	20代
重さ (g) 比率	88 6%	増大	372 27%	増大	82 59%	1010 72%	1115 80%	1225 88%	1396 100%
サル			70%	100%					

率を示している.

表1より、サル(マカク属のカニクイザル)は出 生までに脳重量が70%に達し、残りは生後6ヶ月 の間に完了するのに対し、ヒトの脳の成長は20歳 代で終わる,あるいはその後まで完了しない.脳成 長の活発な時期はチンパンジー等で生後11ヶ月, ヒトでは生後36ヶ月の間である。ヒトの脳成長速 度は、他のいかなる霊長類の速度をしのぐ、胎児の 脳は毎分20万個のニューロンが増え、特に胎内に おける最後の三ヶ月で爆発的に大きくなり、この時 点で成人の脳の25%に達し、出生後の6ヶ月間で も急成長する. ヒトのネオテニー的特徴として, 脳 の成長や歯の萌出を待つように、20歳代まで頭骨 が縫合せず、開いたままになる[14].これは、類人 猿と比べ、身体的に未発達の段階で生まれ、低成長 が続く長いコドモ期こそがヒトを特徴づけるとも言 える[15]. ヒトは、脳が出生後の世界に柔軟な適応 力を示し、出生後の経験を大量に記憶できるのだ.

#### 3.4 言語の起源とマカクサルのミラーニューロン

言語の起源については、身振りにルーツを求める か、出発点より音声であったという二つの相反する 説で論争があり、ここにも対峙がある. 古くは身振 りが優勢であったが、20世紀後半は音声が有力視 されつつあった. そして 20 世紀末 1990 年代に発見 されたミラーニューロンが再び身振り説に情勢を覆 らせつつある[16]. このニューロンは、ヒトのブロ ーカ野に相同する領域をサルの脳内で探すマカクサ ルの脳の実験で、運動前野の F5 野に偶然見つかっ た. 例えば物をつかむといった単純で目的志向的な 行為をする時に活動するが、驚くべき点は、同じ行 為を行う他のサルや人を視覚的に観察している時に もそのニューロンが活動することである. その行為 者が誰であるかは関係なく, 行為そのものを反映し ていることから, 運動の生成(行動実行時)と受容 (行動観察時)の双方が同じ脳内表現に携わり,運 動の理解や模倣に関与すると考えられた[17].

実験を行っていた神経科学者 Rizzolatti らは、こ

の神経細胞を鏡になぞらえ**ミラーニューロン**と名づけた<sup>[18]</sup>. ただし、気をつけるべきことは、サルは基本的に模倣できないことである. 連載 5 回 7.4 の言葉を借りれば、潜在的にその能力を持っていても、ドーパミンという報酬が得にくい能力は、使用する動機につながらないだけなのかもしれない.

# 3.5 ブローカ野をめぐる動作・言語・文法

図1は、ヒトの左脳側であり、言語にはブローカ 野、ウェルニッケ野、縁上回・角回が重要である. さて、ミラーニューロンはヒトにも存在するのだろ うか?ヒトが他人の把持(物をつかむ)行動を見る と,図1のSTS (上側頭溝), IPL (下頭頂小葉) が活性化するだけでなく、ブローカ野 45 野が活性 化する結果が得られているという. ブローカ野(連 載5回3.1) とは、発話など運動性の言語中枢であ るが、手の動きにも反応したということである. 興 味深いことに、把持運動をイメージする時にも同じ ブローカ野の44野が活性化したという[17].ブロー カ野は、ワーキングメモリ(連載5回5.2)の調音 ループの主要な構成素とも考えられており、内的な リハーサル(連載5回5.1)に関係することから、 発話と把持運動の内的リハーサルいずれもブローカ 野が担っている可能性がある. ヒトの場合, 脳に電 極を入れた実験は倫理に反するため、サルと同じ実 験形態は取れないが、これらの結果から、ヒトのミ ラーシステムがブローカ野にもあり、言語とも結び つける仮説が成り立つ. 酒井はこの結びつけに反対 する研究者の一人である. 酒井は生成文法の支持者 であり、文法の機能が局在する文法モジュールはブ



図1 脳の部位

ローカ野にあるという研究結果を報告している[7].

Greenfield (1991) は、ヒトの手による物の扱い 方と、文法によるコトバの組み立て方に着目し、両 者の構造に多くの類似点(たとえば入れ子になった 物の扱い方と文法の組み立て)を指摘している. そ して、脳の発達にともない、両者の機能がブローカ 野の中で分離されていくという説を提唱してい る[19]. 一方,動物学者の渡辺にとって,文法は, 行動の産出規則に他ならないという.ネズミのお化 粧行動には動作の産出に系列的な順序の規則があ る. ネズミの新線状体背外側部を損傷すると, 個々 の動作はできても一連のお化粧行動を組み立てられ ない. 渡辺は, 動作産出の文法は, 動物がいわば普 遍的に持っているものであり、ヒトの文法も、その 起源はこのような動作文法であると考えてい る[20]. ちなみに、ミラーニューロンシステムが霊 長類に特有なのか、他の動物にも存在するのかは分 かっていない[21].

#### 3.6 意図推定・共感

Rizzolatti らは、複数の運動を組み合わせて意図的な行為を行う運動系システムと、他者の意図を理解する能力との密接性に注目する。実験の結果、ミラーニューロンの関わるシステムが、行為を識別できるだけでなく、その行為に含まれている意図的な要素に強く反応することも明らかにされた[21].

また、他者の感情表現を見たとき、ミラーメカニズムが想定できれば、他者の感情を自分の感情として感じる共感という感覚が得られる可能性がある。 Rizzolatti らは嫌悪感の実験で、自分が嫌な匂いを嗅いだときと、他者が同じ匂いを嗅いで嫌悪の表情を目撃したときに、脳の島(図 1)と呼ばれる領域が活性化することを発見している[21]. 近年、ヒトには、図 1 のブローカ野周辺、島、前帯状皮質にも、ミラーシステムの存在が示唆されている[21.22].

# 3.7 自閉症・隠喩・共感覚

自閉症の診断基準となるおもな徴候には, 対人的

孤立、アイコンタクトの欠如、言語能力の不足、共感の欠如などがある。また、多くの自閉症患者は隠喩を理解できず、時には文を表面上の意味通りに解釈してしまったり、他人の動作をまねるのも苦手である。Ramachandran は、自閉症の子供が他人とうまく交流が取れないのは、ミラーシステムが正しく機能しないせいで、他人に共感したり、相手の意図をくみ取れないためだとする[22]。ちなみに、自閉症では、図1の下前頭回・島・前帯状皮質・角回及び小脳・脳幹の機能障害の関与が示唆されている。Ramachandran は、ミラーニューロンが、視覚と運動という異なる感覚を結び付けていることに注目する。またRamachandran は、共感覚でも知られる。

共感覚とは、たとえば、数字を見ると色を知覚する特殊感覚のことであり、その特性は遺伝することが知られている。これは、色と数字を認識する脳の部位が隣り合っており、クロス配線が起きているためだと考えられている。Ramachandranは、共感覚の機構が、実はヒトー般にも浸透していると見る。

例えば二つの絵(図 2)にそれぞれ名前をつけるなら「ブーバ」か「キキ」かと質問をする. 母国語の違いを問わず、98%のヒトが左側をキキ、右側をブーバと答える. Ramachandran は、これを形(視覚)と音(聴覚)の共感覚が引き起こすと見る[23]. 岡ノ谷はこれが事実なら記号の恣意性の反証につながると述べる[10]. 対応が恣意的でなくなるからだ. しかし野村は、言語が全くの恣意性に従うなら、世界の分節、対象と名前の対応も無限に異なりうるが、さまざまな言語を比較すると、全くのでたらめではないという印象を述べる[8]. 恣意性が言語の特徴をよく捉えているにしても、世界の分節の仕方にバイアス(偏り)があることを示唆している. 共感覚はバイアスを引き起こす一面を持つのか





図2 「ブーバ と 「キキ」はそれぞれどっち?

もしれない.

さて,この共感覚と隠喩が関係する可能性を述べ る. 隠喩は図1の角回を損傷すると理解できなくな る事例が報告されている[23]. 角回は, 意味の処理 に関与しているが, この領域は, 脳内で視覚, 聴 覚, 触覚のそれぞれの中枢が交差する位置にあ る[22]. 表面的意味の運用から隠喩的意味の運用へ の飛躍を, Ramachandran は, 共感覚がらみだとい うのである. もしかすると意味の拡張や多様性, 複 雑な意味の生成は、この領域でのクロス配線が原因 なのかもしれない. また Ramachandran は, この角 回発達の原因を, ヒト祖先の樹上生活 (連載5回3. 4) による視聴触覚の連合強化の必要性に見る. 天 敵からの逃避で樹上を飛び回り,獲物を発見するに は、視覚・聴覚・触覚の連合処理が優位に働くため である. ミラーシステムも, ひょっとすると共感覚 を生み出した機構の産物ではないだろうか.

### 3.8 ミメシスと言語の起源

ミラーシステムが音声言語以前よりはるか昔に現れたのだとすれば、身振りなど意図相互伝達方式の発達が言語の起源だとする仮説が成り立つ.

アクア説 (連載5回3.5) では,400万年前に人 類は隔離され、海辺の生活を余技なくされて、その 後 10 万年~100 万年くらい経ち, 再び陸への上陸 を余儀なくされたとき, 二足歩行を始め, 喉頭の降 下により発話を始めたとなる.しかし,三井の説に よれば、人類は700万年前から二足歩行をし、社会 的生活を始めていたとする[24]. 社会的とは、お互 いの意図を理解し合い、協力し合えることである. 言語の機能的本質は、お互いのメッセージの意味が 送信者・受信者間で同じになる必要があり、互いの 意図を推定し、共感する必要がある. 神経科学者の ドナルドは著書「現代精神の起源」(1991)で、初 期人類がミメシスを用いたとし、ミメシスがサルと 現代人のコミュニケーション形式の橋渡しをしたの ではないかとする説を提唱した[25]. ミメシスと は、「意図的ではあるが、言語的ではない表象行為 を意識的,自発的に行う能力」をいう。その表象行為とは、身振りなど**身体的情報発信**のことであり、言語に根ざした文化形式に取って変わるまでの数100万年以上の非言語コミュニケーション文化をミメシスが支えたとする<sup>[25]</sup>.

#### 3.9 文化継承の累進的漸進と脳・言語の共進化

Tomasello はヒトと類人猿との系統上の分裂を 600 万年前とし、600 万年は進化論的にはきわめて 短く、これほど短期間に行動・認知両面に変化をも たらし得た生物学的メカニズムは, 社会的あるいは 文化的に継承を行う能力を前提とし、継承の内容を 修正する能力であるとする[26]. 「親の食べるものだ け食べる」や「親のまねをする」などの社会的文化 継承や、自然淘汰や突然変異等による遺伝的素質の 遺伝だけで,この劇的とも言える漸進的変化は説明 できないというのである.動物は創造的かと言え ば、創造が行われることが実はある.しかし、それ を継承する能力,修正する能力がないか乏しい. つ まり、多くの動物種にとって困難なことは、創造性 ではなく, むしろ文化継承の漸進作用という歯車を 逆回転させることなく安定させる, 累進的進化であ り、これこそがヒトの言語を発展させたという主張 である. これは、連載2回4.2に示したコトバの 特徴の一つでもある. また, Tomasello は, 文化学 習を模倣・教示・共同作業という三つの観点による 学習と位置づける. ミラーシステムの効能は文化継 承の基盤にもなるのである.

共進化とは、進化論における概念であり、「複数の種が相互に影響を与えながら環境への適応力を高める方向に進化すること」という定義である。たとえば被捕食種は捕食種に捕らわれないよう進化し、捕食種はその進化に対応すべく自らを進化させる。選択的圧力を及ぼし合い共に進化する関係を共進化と呼ぶのである。文化継承により伝承された意図伝達法の修正はコトバをより複雑化させ、複雑化したコトバに対応するよう、脳が発達する。脳が発達すれば、より複雑な意図伝達法が修正により生み出さ

れる. Deacon は, 言語と脳は, 共進化の関係によって成長・発達したと主張する<sup>[27]</sup>.

また、Deacon は言語と脳の共進化の議論として、文法能力が生得的ではありえないと論じる<sup>[27]</sup>. それは、遺伝的素質(本能)として継承されるというよりも、共進化により発達した脳が、社会・文化により累進的に継承される内容を学習によって獲得できるように発達したと見るようである。つまり、文法規則は遺伝による固定的な獲得物ではなく、外界のパターンから学習により獲得すると見るのである。これは子供の白紙状態出生説に近い。

# 4 言語の起源・進化説の大分類

#### 4.1 言語の起源と進化論文受付の禁止と解禁

パリ言語学会は 1866 年制定の会則第 2 条で、言語の起源と進化に関する論文を一切受け付けないと決定した.これは言語神授説やワンワン(言語の由来は動物の鳴声)説、また宇宙人伝授説など、直接的な証拠もない中での「何でもあり」であった当時の状況に歯止めをかけるためであったのだろう[10].その傾向は近年まで続いたが、科学技術の進歩も影響して、1980 年代に言語を科学的に扱う土台が整い、その背景のもと、Pinker と Bloom は「自然言語と自然淘汰」(1990) および一般向けの著作「言語を生み出す本能」(1994)[28]を世に出した。これを契機として再燃した言語の起源と進化の研究動向を受けて、パリ言語学会は 2000 年に「言語の進化」国際会議を招聘し、論文受け付けを事実上解禁した[10].

# 4.2 言語の起源・進化諸説の分類

図3は、神経行動学者の岡ノ谷が作成した、言語の起源諸説の分類に手を加えた図である。岡ノ谷によれば、言語の起源説は、おおざっぱに三分類(漸進説、断続説、前適応説)が考えられるという[10].

# 4.3 漸進説と自然淘汰

支持者の多くが生物学者である漸進説では, 生物

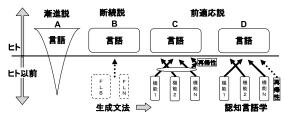


図3 「言語の起源」諸説

がもつ諸特性は、ある事象への適応に基づき、自然 淘汰によって漸進的(微小な過程の蓄積)に進化し たと考えられている[10]. 適応という語を生物学者 が用いる場合, 自然選択によってその遺伝的基礎が 形成されたときの形質をいう<sup>[29]</sup>. Pinker は生成文 法を支持し、その生得的視点から言語を本能とさえ 呼ぶ<sup>[28]</sup>が、進化的観点でいえば Darwin を信奉す る. Pinker は自然選択を時代遅れとする考えを否定 し, 自然選択こそ複雑適応的デザインを生み出せる 唯一の進化的駆動力であり続けているとし、複雑適 応的デザインの進化は自然選択でしか説明できない と主張する[29]. 有機体の特徴は非ランダムに組織 化されていて、そのおかげで有機体は考えもしなか ったゴールを達成することができ、それが生存や繁 殖を推し進めている. それゆえ複雑なメカニズムを 有する文法も自然選択で得られるとする.

# 4.4 断続説

支持者の多くが言語学者である断続説では、言語はヒトにおいて突然成立したものであり、進化を経て完成したものではないから、進化的な説明は無意味であるという立場をとる[10]. Saussure はランガージュの有無を人間と動物の差異であると考えていた(連載2回3.2). その意味では断続説になるのかもしれない. この断続説だけでなく生成文法論の生得性を後押しする FOXP 2、通称文法遺伝子が注目された(1990). 失文法の症例を持つ患者の遺伝子 FOXP 2 が障害の原因と特定され、それが患者の家系で遺伝することが判明したからである. つまり、突然変異で文法が発生し、遺伝するという意味で断続説を後押しする. しかし、脳科学者の川人は

FOXP 2 を文法遺伝子と見るのは誤謬だとする[30].

Hauser (2002) によれば、人間言語に特有な唯一 の性質は,再帰性であり,こればかりはヒトにおい て突然現れた性質 (断続説) としている [10]. Chomsky は、初期の著作で、当時の諸科学が得た知見の みで言語の起源と進化の問題を扱うことは科学的で なくミステリーの領域としたが、これを多くの生成 文法研究者は、言語の起源と進化の研究が禁止され たと受け止めた<sup>[10]</sup>. しかし Chomsky は 2002 年の 共著論文で、態度を変化させ、言語を可能にする認 知機能に、ヒトと他の動物が共有するもの(FLB: 広義言語機能)と、ヒトのみに存在するもの (FLN:狭義言語機能) があるとしている<sup>[10]</sup>. ヒト の言語から動物の認知機能と共通部分を順次はぎ取 ってゆき,残った部分を FLN とする. FLB には作 業記憶、カテゴリ化、時系列操作、概念ラベル化や 発声機構などが設定され、残ったものが再帰的な認 知操作だとしている[10]. 初期の生成文法論では, ヒトにおいて言語という総体が突然現れたとする断 続説に立っていたが、以上の経緯では、前適応説に 歩み寄っている. ただし、断続性を無効にする FLN をできるだけ少なくしようと努力している[10].

#### 4.5 前適応説

鳥の羽は本来、保温への適応として進化したが、その後、捕食者からの逃走中、偶然揚力を伴い飛行につながり、飛行に適応した[10]. この説のように、もともとの目的とは別の目的に利用される適応を前適応という. ただし、もともとの目的に加えて、別の目的にも利用されることを意味する外適応という語もあり、若干の違いがあるため、前適応と区別して使われることもある[10]がここでは区別しない. 実は、アクア説での海への適応、つまり呼吸機構制御上の収斂は、ヒトの喉頭を降下させ、もともとの目的とは異なる発話機能を進化させたという意味で前適応説になる. ただし、アクア説も他の説同様、直接的証拠がないため、数ある仮説の一つにすぎない. 岡ノ谷は、前適応説の立場にあるが、同

じ立場を取る認知言語学について,再帰性の点で異なる見解を持つ.図3はその様子を示している.岡ノ谷が支持する前適応説では,再帰性は特別ではあるが,前適応の各機能の相互作用により創発しえるものと考える.創発とは,以前の状態からは容易に想像できない性質が突然に生ずることである.

前適応説を取る認知言語学では、再帰性を認めない立場と、言語にのみ特有なモジュールを仮定せず、再帰性に着目するが特別扱いしない立場があるという[10]。また、認知言語学では、生得性の存在を認めるが、その影響を最小限に抑えようとする。

# 4.6 部分から全体か・全体から部分か?

言語が何らかの適応や進化によるものとしても、初期の原型言語の発達は、言語の最小単位が先にあり、それを構成的に組成(文法)、全体的表現へと拡張したとする構成的原型言語(部分から全体へ)とする立場と、言語表現が最初は切れ目がなく、それを分節する方向で文法が出現したとする全体的原型言語(全体から部分へ)という立場がある[25].

ハワイ先住民がアメリカ人と商取引を始めた時代、英語を知らないハワイ先住民は、次第に少数の単語の意味を獲得し、それらを適当に組み合わせて意思疎通を始めた。この単語の羅列のみで文法規則を持たない言語をピジンといい、ピジン語を見聞きした次世代の子供達がピジン語を材料に独特の文法規則を導入した言語をクレオールと呼ぶ。Bickerton (1981) は、このような構成的言語の発達に原型言語を結びつける[10]。実は、こうした部分から全体への構成という概念は、モンタージュ理論(連載3回3、6-3、9)の編集概念と通じるものがある。

一方,幼児が使い始める言葉は一語発話であり,名詞が最も早いが,一つの語彙の中に多くの意味を含んでいるという[31]. 例えば,幼児が「ボール」と発話したときでも,心の中では「ボールを取って」とか「これはボールだ」などの意味を想い描いている.幼児はその後,全体的一語表現から二語文や島構文を経て単語を組み合わせた文を発するよう

になる<sup>[26]</sup>.これは全体的一語表現が分節的に表現されたという意味で全体から部分への分節となる.

また、例えば「その肉を渡せ」を意図する全体的一語表現 agafgahi と、「その肉をやる」全体的一語表現 bofga に、たまたま fga という共通項があるとする。この状況の共通点は「その肉」、全体論的表現の共通項は「fga」、この対応に気づくと「その肉」は「fga」に対応するようになる。これが進むと、全体的表現は、次第に分節されて単語になっていく。これも全体から部分への分節の一種である。岡ノ谷はこれを相互分節化仮説と呼ぶ[32]。

Wray (1998) は、全体的原型言語を、分節過程で単語と文法が同時に生じる原型言語とする[25]. これは、アメリカ Griffith (連載 3 回 3. 4) の映画が、デクパージュと語られるときの、全体から部分への分節的編集概念に通じていると思える.

ミメシスや Wray の説を奨励する Mithen は,人類祖先が歌っていたことを言語起源の構成素とし $^{[25]}$ ,岡ノ谷は鳥の歌文法からヒトの文法起源の説明を試みる $^{[33]}$ .

# 5 音楽と言語

# 5.1 呼吸制御の精緻化と音楽学習

鳥類は約一万種おり、そのうち半分以上は鳴禽類、いわゆる「小鳥」であり、状況に依存して鳴く単音節の発声(地鳴き)の他、縄張りの防衛と雌への求愛の歌(さえずり)をうたう「34」。鳥の歌学習には、自分がのちにうたうべき歌の聴覚記憶(鋳型)が脳に刻まれる感覚学習期、その後、歌の聴覚記憶と自己の発声パターンを照合させるように脳と筋肉を鍛錬する発声聴覚フィードバックによる運動学習期の二過程がある「34」。感覚学習にはある程度敏感期があるのに対し、運動学習はより可塑性(連載5回7.2:変化可能でその変化を保っている性質)に富む「34」。

感覚学習期には、孵化後、歌を学習する**臨界期** (学習効率が最適である時期)があり、雛鳥を隔離 したり、別の鳥の歌を聞かせてもうたえなくなる. うたうためにはその歌を聞くという経験が必要である。これらの歌はニワトリやウズラなどの発声と違い,個体が学習を必要とするが,感覚学習期に聞こえてきたものなら何でも学習できる訳ではなく,学習されるべき歌は遺伝的に決まるとする[35].

一方, 音声学習とは, 固定的ではなく, 新たな発 声パターンを獲得することであり,可塑性をもつ. しかし、新たな音声への新たな意味付与は島では起 こらない. 明示的に音声学習を行う動物種は非常に 少なく、鳥類の一部とクジラ類を数えるのみであ り、霊長類の中ではヒトのみが音声学習をす る[33]. ただし,一見,複雑な文を音声学習・発声 しているように思える人まね鳥(九官鳥,オウム, インコ) の場合も、まねた音声全体を繰り返してい るだけで, 分節·文法とは関連しない<sup>[36]</sup>. 一方, ヒトを含め、これらの動物に共通する解剖学的構造 は、口周辺の制御と延髄の呼吸中枢が密接に連絡し ていることである. クジラは今でも肺呼吸するし, 鳥も飛行中に呼吸制御の精緻化が必要であり、これ が前適応になったとする[27]. ただし、この機構 は、鳥類において歌学習をするキンカチョウ、ジュ ウシマツではみられるが、歌学習をしないハトでは みられない[32].

# 5.2 コトバの土台は音楽的感覚学習?

鳥と同様、ヒトも言語を苦もなくしゃべるためには、臨界期がある感覚学習期と運動学習期を必要とし、およそ三歳までにその言語が話される環境に生活して、音声の特徴を記憶せねばならない<sup>[33]</sup>.

一方,脳科学者小泉の研究で、母胎の中でヒトの赤ちゃんは、出生の10週前(ニューロン増大期)あたりから形成される聴覚野で、プロソディ学習を始める可能性があるという[37]. プロソディとは、イントネーション、韻律、リズム等、言語の音楽的な要素である。その聴覚野が発達するためか、生後から5日内の乳児で、成人の発話を録音した逆再生音声を聞かせても脳の言語野に相当する部位が活性化しにくいのに対し、順再生では活性化するため、

生後直後で既に、言語らしさを判別しているという<sup>[37]</sup>. さて、これは出生時で観察すれば遺伝的素質と見れるが、出生前からの感覚学習によるものとも見れる。この点では、言語獲得が遺伝的か白紙状態からの学習かを定めることはできない。ただし、ヒトが獲得する音素は遺伝的に拘束されない。なぜなら、ヒトの赤ちゃんは、どの個別言語の音素でも学習・修得できるからである。

#### 5.3 ジュウシマツの歌文法

岡ノ谷は、ジュウシマツを、江戸時代 (1762) に輸入された野生鳥コンジロキンパラ (歌は複雑でない)が祖先であるとし、家禽 (ペット) 化して進化した種であるとするが、たった2世紀半の進化でジュウシマツが複雑な歌文法を獲得したという[33].

そのジュウシマツの歌文法では、Chomsky の階層(1959)、Type 3:有限状態文法、Type 2:文脈自由文法、Type 1:文脈依存文法、Type 0:一般書き換え規則(チューリングマシン)のうち、3 次のマルコフモデル(直前の三つの要素とそれに続く要素の関係)による最も低レベルの Type 3:有限状態文法が成立するという<sup>[33]</sup>、図 4 は、鳥の歌文法を有限状態文法的に示したものである。図 4 左側のように、声の周波数特性上の同じパターンに記号を対応させたとき、その遷移の様子をオートマトンで示したものが図 4 右側であり、これが有限状態文法に対応する。ただし、図 4 は実際の例ではなく説明用の例である。

これが生まれた原因は、家禽化で捕食者がいなくなり、有性生殖を支配する性淘汰(Darwin が提唱)の影響が強くなって、これが前適応となり、文法が創発したとする。歌文法は固体ごとに異なり、形式は変わるが、求愛で優位に立つための表現であ

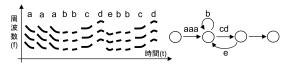


図4 鳥の歌文法

る. ただし、求愛表現に情報意図・伝達意図(連載2回2.1)はあるが、表現は常に求愛もしくは縄張り防衛などの意味に結びつくため、恣意性はなく、文法といえど構成的意味伝達機能は欠如している. ジュウシマツのメスは複雑な歌を好むらしく、より複雑な形式を生成せざるをえない淘汰圧こそが、この意味と対応しない文法を創発したというのだ.

つまり、岡ノ谷は、2.4で紹介した Chomsky の主張のように、意味と自律して文法の取り扱いが可能であり、独立に進化可能だとしている<sup>[33]</sup>.また、岡ノ谷は、人類の祖先が社会的な集団生活を始めたことで天敵からの防衛手段が培われ、生活が安定し始めたため、人類にも種保存へ性淘汰の影響が強まり、歌やダンスの高度化が進んで、分節と組成の複雑化が意味とは独立して進化したと考えている<sup>[33]</sup>.つまり、人類の祖先も歌を競い合い、それが文法能力の基盤になったというのだ.

### 5.4 歌と運動と小脳

脳神経学者の中田は、ヒトが楽譜と文字を読む際 の脳活動部位が同じである等の研究から、脳におけ る言語と音楽の同一性を主張する. また、ヒトは大 脳を発達させたが、相対的量として最も増加させた 脳はむしろ小脳 (絶対値としては前頭葉) であり、 鳥の脳で中心を占める脳もまた小脳であるとす る[38]. 小脳は、運動制御やその精緻化などに関与 しているが、鳥は飛ぶことで手(翼)を、ヒトは二 足歩行で解放された手や二足歩行そのものを巧妙に 制御するため、小脳が発達したとする[38]. 翼 (手)を頻度高く使用する鳥類に歌をうたう種が多 いことは興味深い. ちなみに, クジラの小脳研究は まだ数少なく、歌と小脳の関係は不明だが、クジラ 類でもザトウクジラは7オクターブの音域を操り, フレーズ・音階のある美しい歌を学習することで知 られている[39].

ヒトが身体を動かすとき,脳はかなり複雑な計算 問題を解く必要があり,内部モデルを必要とする. 内部モデルとは,脳の外に存在するある対象の入出 力特性をまねることができる脳内の神経回路であり、小脳皮質と大脳のループ回路により学習によって小脳皮質に獲得される説がある[40]. また、内部モデルは、入力に対する正しい出力が教師信号として与えられ、実際に出した出力との誤差信号がゼロになるように学習が行われる教師あり学習により獲得されるという[41]. 同じ入力について常に複雑な計算を行うのは非効率であるが、一度望ましい行動則が分かれば、記憶しておくことで、次回からは記憶を参考にでき、低コストで迅速な判断が下せる[41]. 実際、非常になれた運動、暗算、定型的な処理を高速に実施する上での小脳の活動が指摘されており、初めは脳全体を使った意識的、直列的な処理から無意識的、自動的、並列的な処理への移行過程(暗黙知)と小脳との関与が示唆されている[41].

近年、ヒトの小脳が、連載5回で紹介した視覚的注意やワーキングメモリを始め、名詞から動詞を連想する課題等も担うことが分かっている。小脳は、内部モデルを獲得することで、運動制御に限らず、言語や思考など高次認知機能においても、早く正確な情報処理を可能にしていると考えられている<sup>[42]</sup>。

さて、中田は、鳥の一部が言語要素として発声機能を高度化させるに至ったが、大脳皮質が無いために知能が発達せず、そのため言語を獲得できなかったとする[38]. つまり、言語には大脳皮質と小脳の両方の発達が必要だというのだ。ただし、現在では、ヒトの大脳皮質のような層を持った膜構造ではないが、鳥にも神経核(神経のかたまり)という別構造で大脳皮質に相同する部位があるとされる[10].

#### 5.5 大脳皮質と知能

大脳皮質は哺乳類で発達したが、皮質(厚さ 2 mm)は、ちょうど名刺を 6 枚ほど重ねたような層構造をしており<sup>[43]</sup>(図 5:6 層構造)、平らに広げたとすると、ラットは切手 1 枚分、サルはハガキ大、類人猿のチンパンジーは A 4 用紙 1 枚分、人は A 4 用紙 4 枚分に相当する広さをもつ<sup>[44]</sup>(図 5 左端がそのイメージ)。ただし、この膜はコラム

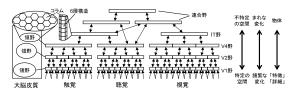


図 5 大脳皮質

(図5) という小さな領域がネコやサルで 0.5 mm ヒトで 1 mm 程度の幅で並んでいる。個々のコラムは 6層を貫いているため、鉛筆を束で集めたような構造を想像してもらいたい<sup>[38]</sup>.このたとえで言う鉛筆 1 本分がコラムであり、これが 6 層を持っていて、その芯にあたる部位にニューロンが直列方向に相互接続されている。この構造が大脳皮質の特徴となっている。

また、この皮質上に複数の領野(図5)があり、 学習によってそれぞれが特別な機能に対応するよう になる. その領野と他の領野との接合関係による階 層構造もあり、その上位に位置し、複数の領野から の入力を連合するのが**連合野**であり、ヒトが最も発 達させた領野である.この階層構造の頂点に位置す るのが記憶中枢の海馬であるという[43].神経科学 者 Mountcastle (1978) によれば、大脳新皮質がき わめて均質であることから,似ているなら学習後の 機能は別でも同じ処理を行っているはずだと考え た<sup>[43]</sup>. Hawkins (2004) によれば, ヒトの脳は記憶 を基盤にすることで知の計算コストを抑えたとす る. そして, 階層構造と記憶を用い, 大脳皮質の同 一処理は知能、つまり時系列パターンを学習して類 推によって予測を立てる機能だとし、ネズミからヒ トまですべてに知能はあるが、その高さが違うだけ だと述べる[43]. 川人は大脳皮質の機能を, 教師な し学習とし、外界の状態や行動出力の必要かつ十分 な内部表現を提供すると見る. 教師なし学習とは, 入力に対応する出力を教えられない学習であり,統 計的な特徴を頼りに学習を行い、感覚入力の中に潜 む情報を抽出することである[41].

ただし、クジラ類イルカの脳は人間と同程度の大きさ、クジラでは何倍もの大きさがあり、大脳皮質

も広く人間よりシワが多い。もし大脳皮質の広さ=知能の高さならクジラの方が上である(連合野の存在は不明)。ただし、クジラ類の大脳皮質は未分化のコラム構造だが、霊長類では場所ごとに構造が違い分化が進んでいる。知能の高さは単純に皮質の面積の広さに対応するのではなく、むしろヒトが発達させた連合野に依存するのかもしれない。ところで、鳥の歌文法では、大脳神経核(ヒトの大脳皮質相同部)と大脳基底核のループも重要である[33]。

# 5.6 大脳基底核と分節

大脳基底核は,大脳の奥深くにあって,運動に必 要な調節を行うニューロンの集まりである[7].鳥の 場合,大脳基底核は,精緻な運動を学習するときや 維持するときに活動する一面があり、大脳神経核と 大脳基底核のループは, 歌やダンスを可能にする神 経回路であるという[33]. ヒトの場合, 外国語をず っと聴いていると次第に単語の切れ目を感じる分節 化に関与するとされる. また、大脳基底核には強化 学習の機能があるという. 強化学習は報酬の予測を 行い, ある行動の結果に評価を与える. どういう出 力が良いかという具体的な教師信号は与えられない が, 実際の出力の良さを示す報酬信号が与えられる と、これをなるべく大きくするよう探索的学習を行 う[41]. 彦坂のモデルによれば、運動の順序は大脳 基底核で学習され、運動のタイミングは小脳で制御 されるとする[7]. また、音声の入力と予測の誤差が 前頭葉の大脳皮質運動野に送られており、学習に影 響を与えるという、ヒトの場合でも、大脳基底核と 前頭葉の運動野とのループが基盤となって、音声の 発声と聴覚のフィードバックによる学習機構が働 き、音声の分節能力が発達するのかもしれない。

# 5.7 意識に上る処理は低速,意識下は高速

Roth (2005) によれば、脳はさまざまなタイプの 記憶を総動員し、注意の対象が 1. 重要で未知なら 意識に上げて処理、2. 重要で既知なら記憶を用い て低いレベルの意識で処理、3. 重要でないなら意 識に上らないか, 上っても不明確のままにするとい う[45]. 脳は処理プロセスを絶えず自動化しようと しており、意識から外して無意識でこなそうとす る. そうすることで、作業をより迅速かつ効率的 に、しかも代謝レベルを抑えることもできるとす る. つまり、意識下の処理は記憶との照合により処 理を高速化できる上に、負荷が少ないのである. 一 方、意識に上る処理はスピードが遅い上にミスも多 く, 高くつくプロセスだという. また, Roth は人 が意識して認識するのは、大脳皮質連合野で処理さ れる情報に限られる、と述べている<sup>[45]</sup>. つまり、 言語の意識に上る処理は連合野、意識に上らない処 理は連合野以外の大脳皮質, 大脳基底核や小脳が担 っているとも言えるかもしれない. ちなみに, 近 年,連合野で行われる質の異なる情報をどう連合さ せているかという結びつけ(binding)問題が注目 されている[46]. これは脳科学最大の難問であるク オリアに通じる概念である.

#### **5.8** 言語は汎用処理のネットワーク?

脳を含む身体の構造や機能に左右差があることを ラテラリティという[17]. 言語の左右大脳皮質の機 能差として、右利きの失語症患者の95%が左脳に 損傷があるのに対し、左利きの失語症患者は、40% が左脳損傷,40%が左右両側の損傷,20%が右脳 損傷で失語するという[47]. つまり, 言語機能は必 ずしも場所依存ではない. 言語機能の出現部位は必 ずしも固定ではないのだ. ちなみに, 先天的盲視の 場合、視覚野は別用途の機能を持つ事例もあり、大 脳皮質の汎用性が示唆される. さて, ラテラリティ はヒトの脳のみの特徴とされてきたが、興味深いこ とに、歌を高度に発達させた鳥の大脳にもあること が分かっている[33]. 共通点は、歌をうたうことで ある. ところで、ヒトの脳には脳梁という左右の脳 の連絡路が多数あるが、クジラ類の左右の脳間は連 絡路がきわめて少なく、左右の脳は独立に機能して いるらしい. クジラに言語が発達しないのはこのせ いだろうか. ヒトの女性は男性より脳梁における連 絡路が多く, 言語能力も比較的に男性より高い.

ヒトの脳にはもう一つの汎用性が示唆される. ブ ローカ野では、発話の制御だけでなく、手の制御、 文法までもが関与した. つまり, ある領野の機能も 実は汎用的であるかもしれない. その意味で、Pinker が言語専用という印象を与える言語器官と呼んだブ ローカ野やウェルニッケ野なども、言語特化でな く,運動系列を制御し,予測し,計画し,認知する ための汎用的な感覚運動統合器官であり, それが非 言語コミュニケーションから言語へ転用されたとも 考えられる[30]. その統語的動作・発声の意味で、 人類祖先のミメシスや歌唱が音声言語の素地を形成 したという Mithen の説<sup>[25]</sup>も奇異には思えない.言 語は汎用的な機能を使い、意識上・意識下の機能を 使い, 覚醒時の脳活動により現れる, ネットワーク 的な実態のない存在なのかもしれない。認知言語学 が言語は自律しないとする気持ちが分かる. ただそ うなると, 言語という存在が捉えにくくなるのであ る.

# 6 むすび

Saussure は「言語は存在しない」状態から語る (聞く) 主体の意識へ認識論的に記号を出現させ, ラングを言語学の対象とした. その言語・文法はヒ トから自律するか?脳の局所機能として自律する か?原始言語は構成論的か、全体論的か?言語進化 は漸進か、断続か、前適応か?言語の素地にミラー ニューロンや音楽的素地が関与するのか?読者は, 何か結論が出せただろうか?ヒトは他の動物に比 べ、模倣能力(イルカにも模倣能力がある)、大量 の記憶能力があり、ヒトの外に様々な記憶媒体を発 明し,修正可能な文化的継承を飛躍的に発達させ た. 言語は、その意味で、文化的に伝承され、社会 に共有されている. その言語を, 胎児の頃から学習 によって獲得するとも言えるが、脳の遺伝的素質も 無視できない. その意味で, 文法は生得的か, 遺伝 的素質か学習か?認知言語学では、比喩も言語の意 味機能の根幹を成す欠かせない柱の一つとなってい る. ミラーニューロンが可能としたかもしれない送り手と受け手の意図の共感能力が言語の素地なら、映像で表現する意図を視聴者に正しく伝達・共感させることも言語の一部と言えないだろうか. さて、言語の境界線は引けるのか?その境界内に、映像言語・文法は含まれるのか?

#### 参考文献

- [1] 辻 幸夫, 認知言語学キーワード辞典, 研究社 (2002)
- [2] 原口庄輔,中村 捷,中島平三,河上誓作,ことば の仕組みを探る-生成文法と認知文法,研究社 (2000)
- [3] 瀬戸賢一, "メタファー研究の系譜", 月刊言語, Vol. 31, No. 8, pp. 16-23 (2002)
- [4] F. J. ニューマイヤー, 抗争する言語学, 岩波書店 (1994)
- [5] 栗本慎一郎,養老孟司,澤口俊之,立川健二,脳が わかれば世の中がわかる-すべては,ここに始まる - 、光文社(2004)
- [6] 山梨正明, ことばの認知空間, 開拓社 (2004)
- [7] 酒井邦嘉, 言語の脳科学-脳はどのようにことばを 生み出すか-, 中公新書 (2002)
- [8] 野村益寛, "認知言語学入門-1「恣意性」の検証 -", 月刊言語, Vol. 29, No. 7, pp. 104-109 (2000)
- [9] 野村益寛, "認知言語学入門-2「恣意性」から「動機づけ」へー", 月刊言語, Vol. 29, No. 8, pp. 98-103 (2000)
- [10] 岡ノ谷一夫, "言語の起源と進化", シリーズ進化学 5 ヒトの進化, 岩波書店 (2006)
- [11] 明和政子, "模倣はいかに進化してきたのか? 比較認知科学からのアプローチー", バイオメカニズム学会誌, Vol. 29, No. 1, pp. 9-13 (2005)
- [12] 大藪 泰, "赤ちゃんの模倣行動の発達-形態から 意図の模倣へ-", バイオメカニズム学会誌, Vol. 29, No. 1, pp. 3-8 (2005)
- [13] 松沢哲郎, "心の進化-比較認知科学の視点から", 科学, Vol. 69, No. 4, pp. 323-332 (1999)
- [14] A. モンタギュー, ネオテニー 新しい人間進化 論, どうぶつ社 (1986)
- [15] 濱田 穣, "コドモ期が長いというヒトの特徴", 科学, Vol. 69, No.4, pp. 350-358 (1999)
- [16] 正高信男, "言語の起源を再検討する", 科学, Vol. 33, No. 6, pp. 62-69 (2004)

- [17] 小嶋祥三, "ミラーニューロンと言語の起源", 科学, Vol. 69, No. 4, pp. 404-408 (1999)
- [18] Rizzolatti G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V. : "Premotor cortex and the recognition of motor actions", Cognitive Brain Research, 3, pp. 131–141 (1996)
- [19] Greeenfield, P. M: "Language, tools, and brains: The ontogeny and phylogeny of hierarchically organized sequntial behavior", Behavioral and Brain Sciences, Vol. 14, pp. 531–595 (1991)
- [20] 渡辺 茂, "動物に文法はあるか", 月刊言語, Vol. 31, No. 4, pp. 24-29 (2002)
- [21] G. Rizzolatti, L. Rogassi, V. Gallese, "他人を移す脳の鏡", 日経サイエンス, Vol. 37, No. 2, pp. 18–26 (2007)
- [22] V. S. Ramachandran, L. M. Oberman, "自閉症の原因 に迫る", 日経サイエンス, Vol. 37, No. 2, pp. 28-36 (2007)
- [23] V. S. Ramachandran, 脳のなかの幽霊, ふたたびー見えたきた心のしくみ-, 角川書店(2005)
- [24] 三井 誠, 人類進化の 700 万年, 講談社 (2005)
- [25] スティーブン・ミズン, 歌うネアンデルタールー音 楽と言語から見るヒトの進化, 早川書房 (2006)
- [26] マイケル・トマセロ, 心とことばの起源を探る-文 化と認知, 勁草書房 (2006)
- [27] テレンス・W・ディーコン, ヒトはいかにして人と なったか, 新曜社 (1999)
- [28] スティーヴン・ピンカー, 言語を生み出す本能 (上,下),日本放送出版会 (1995)
- [29] スティーヴン・ピンカー, "認知的ニッチへの適応 としての言語", 言語進化とはなにか-ことばが生 物学と出会うとき, 大学教育出版 (2006)
- [30] 川人光男, 銅谷賢治, 春野雅彦, "言語に迫るため の条件", 科学, Vol. 70, No. 5, pp. 381-387 (2000)
- [31] 但馬香里, "幼児における一語発話の獲得について -1歳10ヶ月から2歳0ヶ月児の3人の幼児によ る観察報告",東京工芸大学工学部紀要, Vol. 27,

- No. 2, pp. 59-64 (2004)
- [32] 岡ノ谷一夫, "「ことば」の脳自然史", 現代思想, Vol. 33 No. 2, pp. 78-86 (2005)
- [33] 岡ノ谷一夫, 小鳥の歌からヒトの言葉へ, 岩波書店 (2003)
- [34] 岡ノ谷一夫, "小鳥の歌から言語の起源を考える", 月刊言語, Vol. 35, No. 9, pp. 82-89 (2006)
- [35] 渡辺 茂,ハトがわかればヒトがみえる-比較認知 科学への招待,共立出版 (1997)
- [36] 田中春美, "人間のことば・動物のことば", 月刊言語, Vol. 8, No. 9, pp. 2-7 (1979)
- [37] 小泉英明, "脳を育む—学習と教育の科学", 科学, Vol. 70, No. 10, pp. 878-884 (2000)
- [38] 中田 力,脳の方程式ぶらす・あるふぁ+α,紀伊 国屋書店 (2002)
- [39] ロジャー・ペイン, クジラたちの唄, 青土社 (1997)
- [40] 川人光男,銅谷賢治,春野雅彦,"小脳が獲得する 内部モデル",科学,Vol. 70, No. 7, pp. 598-606 (2000)
- [41] 川人光男,銅谷賢治,春野雅彦,"小脳,大脳基底核,大脳皮質の機能分化と統合",科学,Vol. 70, No. 9, pp. 740-749 (2000)
- [42] 乾 敏郎,安西祐一郎,認知科学の新展開3運動と 言語,岩波書店(2001)
- [43] ジェフ・ホーキンス,考える脳考えるコンピュータ,ランダムハウス講談社 (2005)
- [44] W. H. カルビン, "知性の出現", 社会性と知能の進化—チンパンジーからハダカデバネズミまで, 別冊日経サイエンス, 155, pp. 112-121 (2007)
- [45] G. ロート, "意識の起源を求めて", 脳からみた心の世界, 別冊日経サイエンス, 150, pp. 53-59 (2005)
- [46] ジェラルド・M・エーデルマン, 脳は空より広いか - 「私」という現象を考える, 草思社 (2006)
- [47] 杉下守弘, 言語と脳, 講談社 (2004)

# 龍谷の森

# ──大学が所有する森林──

# 宮浦富保 Tomiyasu MIYAURA

理工学部環境ソリューション工学科 教授 Professor, Department of Environmental Solution Technology



# はじめに

龍谷大学は、瀬田学舎の西側に森林を所有しています。大学の事務的な書類などでは「瀬田隣接地」と表現されています。また、龍谷大学の財産目録には「瀬田運動場予定地」と記載されています。運動場を整備することを目的として購入したために、この名前が付いたのだと思われます。「瀬田隣接地」も「瀬田運動場予定地」も、なんだか事務的すぎて、愛着を感じることができません。私は、大学がキャンパスに隣り合う場所に森林を所有しているということに、大きな意義を感じています。龍谷大学が所有している森林を、多くの学生・教職員・周辺住民の方々に知って頂き、愛着を持って頂きたいと表されて「龍谷の森」と呼んで頂きたいと思います。

今回は、「龍谷の森」のことを紹介したいと思います.

# 龍谷の森の短い歴史

「龍谷の森」は瀬田丘陵の一角を占めており、面積は約38haです。図-1は、1947年に米軍が撮影した瀬田丘陵付近の空中写真と、2000年に国土地理院が撮影したほぼ同じ場所の空中写真を並べて示

したものです. 写真の中の黄色の丸印は,「龍谷の森」の大体の場所を示しています.

1947年当時,瀬田丘陵は広大な面積を占めていました.その後瀬田ゴルフコースが開設され,瀬田丘陵は大きく面積を失いました.さらに,滋賀医科大学,県立図書館・美術館,県立高校,大津市公設市場,龍谷大学など,次々と開発が進められ,瀬田丘陵の面積はかなり少なくなってしまいました.

そんな中 1994 年に, 龍谷大学は瀬田学舎に隣接する森林地域を購入しました. 瀬田学舎を拡張し, グランド等の設備を充実させるのが目的でした. このような開発を行うために, 環境アセスメントを実施したところ, この森林内でオオタカが営巣していることが確認されました. オオタカが発見されたことで, 開発計画の中止や修正が行われた例が多く知られています (須川 2007). 「龍谷の森」の開発計画もやはり, これを機会に見直されることになりました.

その後 2003 年に,理工学部に環境ソリューション工学科と情報メディア学科が開設されました.環境ソリューション工学科は,フィールドワークに重点をおいた学科であり,理工学部の学科としては珍しい存在です.環境ソリューション工学科では,多くの実習科目で「龍谷の森」を利用していますし,

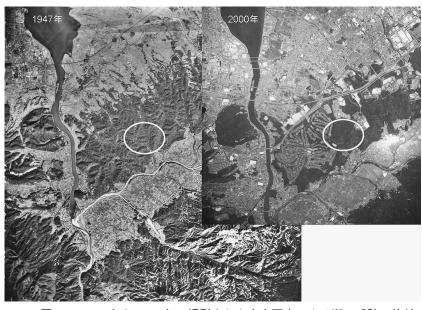


図-1 1947 年と 2000 年に撮影された空中写真による瀬田丘陵の比較 ○で囲んだ場所が「龍谷の森」

卒業研究をはじめとする多くの研究がこの森で行われています。実習林(演習林)を所有している大学は全国にたくさんありますが、「龍谷の森」くらいのまとまった面積の森林をキャンパスに隣接して所有しているのは、大変珍しいことです。多くの大学では、植物や昆虫を対象とする実習をフィールドで行うために、何日間か泊まり込みで遠くの実習林(演習林)に出かける必要があります。ところが龍谷大学では、実習林へのアプローチが容易であるために、通常の講義スケジュールの中で、かなりまとまった実習を行うことができます。

龍谷大学では 2004 年 4 月から, 里山学・地域共生学オープン・リサーチ・センター (里山 ORC) という研究事業を実施しています (宮浦 2005). この研究事業では「龍谷の森」を活動の拠点と位置づけています.

ORC というのは、私立大学の学術研究の高度化を推進するための、文部科学省の事業の一つです。 ORC の特徴は、「学外の幅広い人材を受け入れたり、研究成果を広く公開するなど、オープンな体制の下で行われる」ことです。里山 ORC には龍谷大 学をはじめとして、金沢大学、京都女子大学、九州 大学などの多くの大学、研究機関、行政といった組 織からたくさんの方々が、研究スタッフとして参加 しています、研究スタッフの専門領域も、生態学、 哲学、経済学、法学など、多くの分野にわたってい ます、まさにオープンな体制の研究組織であり、多 様な研究成果が期待されます.

「龍谷の森」は、大学の実習林として高い価値を持っています。しかしそれだけではありません。昔よりもかなり小さくなってしまった瀬田丘陵にあって、「龍谷の森」の重要性は相対的に大きくなってきています。たとえば、瀬田丘陵で生活していたタヌキやイタチなどの動物たちにとって、まとまった面積のある「龍谷の森」は最後の生息地としてとても大切なものになっています。また、かつてはどこでも見られたような植物も、開発によって失われていっています。「龍谷の森」はそのような植物が成育できる残り少ない森林地域となっているのです。

かつて,江戸時代や明治時代には,瀬田丘陵全体 は周辺の集落の人々に里山として利用されていたは ずです.土地が開発や投機の対象でなかった頃に は、里山として利用されていた森林の所有のしかた は今のように厳密なものではなかったようです. 誰 が所有しているかということよりも, むしろ誰がど のように利用するのかということの方が重要だった ようです。いつ、誰が、どこの山で薪を伐ってよい のか. 肥料にする木の葉を掻き集めることができる のはいつか. 瀬田丘陵から流れ出す水を利用できる のはどの集落なのか、これらのことは、集落ごと、 あるいは集落間で取り決めが行われており、厳密に 守られていたと考えられます. ところが現在、里山 は生活に必要のないものとなってしまいました. 化 学肥料や農薬が簡単に入手できるし, ガスや石油な どの化石燃料を使えば, 便利で快適な生活を送るこ とができます. わざわざ苦労して里山から, 薪や木 の葉を採取してくる必要がない訳です. このような 訳で、やがて瀬田丘陵の森林は里山として利用され なくなりました. 利用価値のない森林は開発の対象 となり, ゴルフ場や図書館, 市場, 大学などが建設 されてきた訳です.

生活に直接役に立たない森林に存在意義はないのでしょうか. そのような疑問を多くの人が持つようになってきました. 経済的に役立つだけの森林でなく、景観としての森林、散策することのできる森林、こどもたちが遊び場として利用できる森林、いるいろな動植物の存在できる森林、そのような多様な価値を持つ森林に意義を認める社会になってきたようです. このような時代を迎えて、龍谷大学が瀬田丘陵に所有している森林の価値について、改めて考えてみる必要があるでしょう. 大学が所有する森林は単なる私的財産ではなく、公共的な価値も併せ持っているのではないでしょうか.

# 「龍谷の森」の特徴

#### 土壌

「龍谷の森」を歩いていると、足元の小石に角がなく、まるで河原の小石のように丸いことに気づくと思います。かつてこのあたりは琵琶湖の底になっていたことが知られています。「龍谷の森」の土壌

は古琵琶湖層群草津累層に属しています(吉川・山 崎 1998). 栄養に乏しい未熟土と呼ばれる土壌で す.

瀬田丘陵の南に田上山系があります。ここは明治時代には木のまったく生えていないはげ山であったことが知られています。田上山系がはげ山になったのは奈良時代以降の過度の森林伐採と,燃料としての薪や柴,樹木の根の過剰採取のためであるといわれています(滋賀森林管理署 2002,宮浦 2007)。標高も低く集落に近いことから,田上山系よりも瀬田丘陵の方が強度に利用されていたかもしれません。それにもかかわらず,田上山系の方がひどく荒廃していたようです。これは田上山系の土壌が風化花崗岩であり,そのために土壌が流出しやすかったためであると考えられます。

瀬田丘陵の南東に芝原集落があります。芝原集落に在住の柴原藤雄氏からお話を伺う機会がありました。柴原氏は80代の方です。柴原氏のこども時代、瀬田丘陵はほとんどはげ山状態であったとのことです。土砂の流出を止めるために、家々から若い人が出て、堰堤を築いたとのことです。「龍谷の森」の中を歩き回っていると、谷筋にたくさんの堰堤が築かれているのに気づきます。土を盛り上げて作ったもので、数メートルの幅のものから、10メートルくらいのものまで、さまざまのサイズのものがあります。「龍谷の森」だけでも数十箇所に堰堤が築かれています。これだけの数の堰堤を作らなければならないほど、土砂が流出しやすい状態であったということでしょう。

#### 植物

「龍谷の森」を含む瀬田丘陵の潜在自然植生は「シイーカナメモチ群集」であるとされています (小林 1997).森林の上層を占める大きな木の代表がシイの木で、下層の樹木の代表がカナメモチであるような森林群集をこの名前で呼びます。潜在自然植生というのは、人間の影響がなかったとしたら、たぶんこのような森林に覆われているはずであると

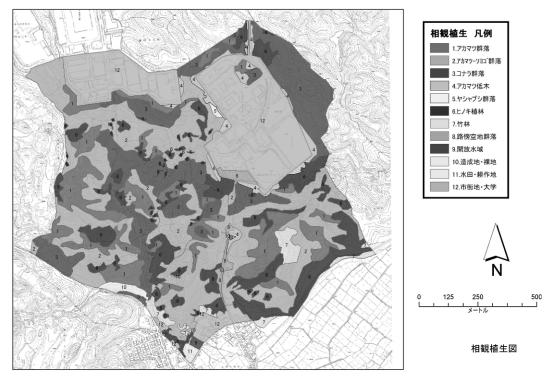


図-2 龍谷の森の相観植生図

いう,仮想の森林タイプです。実際には人間の影響のない森林を探すことは困難です。日本中の森林は、多かれ少なかれ人間の活動の影響を受けています。瀬田丘陵では、古くから里山利用が行われており、シイの木はずいぶん昔に切り尽くされてしまったのでしょう。シイの木は常緑広葉樹です。もしも現在の「龍谷の森」の植生が潜在自然植生である「シイーカナメモチ群集」であったとすると、森の中は一年中薄暗い状態でしょう。しかし現在の「龍谷の森」にはシイの木は数本しか生えていません。

図-2は、2003年に撮影された空中写真に基づいて作成した「龍谷の森」周辺の相観植生図を示します。「龍谷の森」の中で、枯れたまま立っている木をたくさん見かけます。また、倒れている太い木も多く見かけます。これらの枯れ木や倒木のほとんどはアカマツです。数十年前には、「龍谷の森」の大部分をアカマツが覆っていたと考えられます。ほとんどはげ山状態になっていた瀬田丘陵では、土砂の

流出が激しいため、土壌が薄く養分が乏しい状態であったと考えられます。アカマツはこのような環境でも元気に育つことができる樹木です。しかしながら、全国的に蔓延したマツノザイセンチュウによる松枯れによって、「龍谷の森」を覆っていたアカマツの多くが枯れてしまいました。図-2の相観植生図にはアカマツ群落と判定された森林がかなり見られますが、2007年現在では、アカマツの数は相当減少しています。

アカマツが枯れてしまったところでは、ソヨゴが 上層木となっているところが目立ちます。ソヨゴは ふつう森林の中層から下層を占めている樹種です が、上層木であるアカマツが枯れてしまったので、 一時的に上層木となっています。

現在の「龍谷の森」で最も優占度の高い樹種はコナラです。コナラはこの森が里山として利用されていた頃から、繁茂していたと考えられます。コナラが切り倒されると、切り株からいくつもの芽を出し



図一3 萌芽から大きくなったコナラ

(前芽),成長し、やがて大きなコナラの木に成長します.薪や椎茸栽培の"ほだ木"として利用するために切り倒されても、萌芽により更新し、やがて15年~30年もすると再び切り倒して利用されます.このような性質があるため、コナラは里山の代表的な樹木となっています.「龍谷の森」の中には、図ー3のように根本から何本もの幹が立ち上がっている樹木があります.このような木は何十年か前に切り倒され、その後萌芽によって更新してきたものと考えられます.

「龍谷の森」で見られる植物をいくつか紹介しましょう。今回は、花の時期が限られていたり、少数しか成育していなかったり、目立たないといった理由で、その花をあまり目にすることがないと思われる植物を紹介します。花の時期に探してみてください。

一つ目はササユリ、中部地方以西に分布するユリの仲間です。葉が笹の葉に似ていることからこの名がつけられたそうです。別名は「早百合」。万葉集などにも多く登場する植物です。里山の植物として、古くから親しまれてきたものです。里山の利用が行われなくなるとともに、各地で姿を消していっています。今やとても貴重な植物と考えられています。「龍谷の森」では数個体のササユリが確認されています。花の時期は7月~8月とされています。「龍谷の森」のササユリは、今年(2007年)は6月



図一4 ササユリ



図-5 アクシバ

上旬に開花していました.森の中を歩いていて見かけても、けっして採ったりしないでください.大事に見守っていきたいと思います.

アクシバ. ツツジ科スノキ属の植物で、 $6\sim7$ 月に、図-5のようにちょっと変わった形の花をつけます. 道の脇などに生えているごくありふれた植物なのですが、この花を目にすることはあまりないと思います. なぜなら、この花はとても小さく(長さ $1\sim2$  cm)、葉の陰に隠れていることが多いからです. さらに、アクシバ自体が1 m に満たない背の低い樹木なので、なおさら花に気づきにくいのです. なお、科は異なっているのですが、ウリノキ科のウリノキの花はアクシバの花とよく似た形をしています. 花のサイズはウリノキの方が少し大きく、2 cm くらいの長さがあります. ウリノキは残念な



図-6 シュンラン



図-7 イワナシ

がら「龍谷の森」で見かけたことはありません。アクシバの果実は赤く熟し、甘い味がします。北米のブルーベリーはアクシバと同じ属の植物です。この属の植物は他にスノキ、カクミノスノキ(ウスノキ)、ナツハゼ、シャシャンボといった樹木が「龍谷の森」に生えています。スノキと、カクミノスノキ、ナツハゼは、甘酸っぱく美味。

シュンラン (春蘭, 図-6). 3月 $\sim$ 4月に花が咲きます. 地面の近くで、やや下向きに花をつけるので、注意していないと見逃してしまうかもしれません. 「龍谷の森」ではそのほかにキンラン、ムヨウラン、クモキリソウ、オオバノトンボソウ、コクラン、ミヤマウズラなどのランの仲間が見られます.

イワナシ(図-7). ツッジ科の低木で、日本のみに分布する1属1種の植物です.おもに日本海側に分布しますが、近畿地域では太平洋側にも見られま

す.「龍谷の森」では、3月下旬から4月上旬にピンク色の可憐な花を見ることができます.イワナシは樹木ですが、とても背が低く(約10cm),注意して観察しないと見つけられないでしょう.阪本寧男先生(元国際文化学部教授)は、京都の里山で過ごした子供時代のことを、民族生物学的な観点から記述されています(阪本2007).その中で、イワナシの実の食べ方を詳しく説明し、里山の木の実の中でも最高に美味しいのがイワナシであると書かれています.里山の利用がほとんど行われなくなった現在、イワナシも珍しい植物になりつつあります.

#### 動物

「龍谷の森」に生息している動物には、ほ乳類ではタヌキ、イタチ、ニホンノウサギ、テンなどがいるようです。森林内に設置された無人カメラには、ニホンジカやアライグマも写っていました(好廣ほか 2006)。

鳥類では、すでに述べたオオタカが毎年のように「龍谷の森」で営巣しているのが確認されています。オオタカは里山を代表する猛禽類です。南側に広がる水田地帯で餌を探し、「龍谷の森」で休息をしているようです。

ホトトギスは「トウキョウトッキョキョカキョク」とか「テッペンカケタカ」といったように聞こえる鳴き声で有名な鳥ですが、「龍谷の森」で生活しているようです。ホトトギスは託卵をする鳥としても知られています。ウグイスなどの小鳥(仮親)の巣に産卵し、孵化したヒナは仮親が産んだ卵をこっそり落としてしまい、仮親の運んでくる餌を独り占めしてしまいます。なんだかウグイスがかわいそうになりますが、このような複雑な生物同士の関係も「龍谷の森」のなかで営まれているのです。

そのほかにも多くの鳥類が観察されています. 2 年間の観察により、「龍谷の森」では46種の鳥類が 確認されています(堀本ほか2006,2007).

「龍谷の森」では 140 種類のクモが確認されています (吉田 2007). クモは他の昆虫類などを餌にし

て生きる捕食者です. クモの多様性が高いということは餌生物の多様性も高いと考えられます.

一方蝶類は「龍谷の森」では種類数が少ないことが指摘されています(遊磨ほか 2006). 多様な蝶類が存在できるためには、餌となる植物の多様性だけでなく、飛翔する空間が適度にあり、また身を隠すための木陰なども適度にあることが必要なようです. 混み合った樹木を間引き、森林を適正に管理することにより、蝶類の多様性が増すであろうと指摘されています(遊磨 2007).

#### おわりに

おもに植物を中心に、「龍谷の森」の簡単な紹介をしてきました.少しでも興味が持てたら、ぜひ森の中を歩き、自分の足と目で確かめてみてください.「龍谷の森」の地図や情報は、里山 ORC のホームページ(http://satoyama-orc.ryukoku.ac.jp/link.html)から入手できます.「龍谷の森」で行われているさまざまな研究活動や保全活動などの情報もこのホームページから知ることができるでしょう.

#### 引用文献

- 堀本尚宏・吉井崇行,「龍谷の森」における冬季の鳥類相,『龍谷大学里山学・地域共生学オープン・リサーチ・センター 2005 年度年次報告書「里山から見える世界人をつなぐ未来をひらく大学の森」』,300-308,2006
- 小林圭介,『滋賀の植生と植物』, サンライズ出版, 135 pp, 1997
- 宮浦富保, 里山の変遷と未来, 龍谷理工ジャーナル 16 (3):1-6,2005
- 宮浦富保,森と人の関わり 滋賀の里山,『里山学のすす

- め〈文化としての自然〉再生にむけて』(丸山・宮浦編),昭和堂,51-63,2007
- 阪本寧男, 里山の民族生物学, 『里山学のすすめ〈文化としての自然〉再生にむけて』(丸山・宮浦編), 昭和堂, 28-50, 2007
- 鮫島弘光・堀本尚宏,「龍谷の森」における冬季の鳥類相 Ⅱ,『龍谷大学里山学・地域共生学オープン・リサーチ ・センター 2006 年度年次報告書「里山から見える世界 自然と文化の多様性」』, 414-451, 2007
- 四手井綱英, 森林はモリやハヤシではない, ナカニシヤ 出版, 288 pp, 2006
- 滋賀森林管理署,『田上・金勝の国有林』, 24 pp, 2002 須川 恒, 里山保全のための道具類,『里山学のすすめ 〈文化としての自然〉再生にむけて』(丸山・宮浦編), 昭和堂, 340-351, 2007
- 吉田 真, クモからみた里山, 『里山学のすすめ〈文化としての自然〉再生にむけて』(丸山・宮浦編), 昭和堂, 257-271, 2007
- 好廣眞一・渡辺茂樹・谷垣岳人・鈴木 滋,「龍谷の森」 の哺乳類動物相ー中間報告ー,『龍谷大学里山学・地域 共生学オープン・リサーチ・センター 2005 年度年次報 告書「里山から見える世界 人をつなぐ未来をひらく 大学の森』, 212-216, 2006
- 吉川周作・山崎博史, 古琵琶湖の変遷と琵琶湖の形成, アーバンクボタ 37: 2-11, 1998
- 遊磨正秀・宮浦富保・横田岳人、蝶相からみた大津市瀬田丘陵(龍谷の森)の特徴、『龍谷大学里山学・地域共生学オープン・リサーチ・センター 2005 年度年次報告書「里山から見える世界 人をつなぐ未来をひらく大学の森川、189-202、2006
- 遊磨正秀, 蝶相からみた大津市瀬田丘陵の特徴 2 龍谷の森, 文化公園, 瀬田公園の比較-, 『龍谷大学里山学・地域共生学オープン・リサーチ・センター 2006 年度年次報告書「里山から見える世界 自然と文化の多様性」』, 207-220, 2007