

バイオマスとしてのセルロースの利用

石 井 大 輔
Daisuke ISHII

理工学部物質化学科 助教
Assistant Professor, Department of Material Chemistry



はじめに

近年、石油資源の安定かつ持続的な供給に対する懸念や、二酸化炭素排出抑制といった観点から、石油資源に代わる再生可能な資源として、バイオマス（生物資源）の利用を拡大する試みがなされています。その一方、エネルギー資源や工業原料としてのバイオマスの利用と、食糧源としてのバイオマスの利用との間で、軋轢が生じる懸念も生じています。この問題を解決するために、食用作物の廃棄部分や、木材など、食用でないバイオマスを利用して、食料供給と資源供給とを両立させる試みもなされています。ここでは、そうした食用でないバイオマスが含む主要な化学成分であるセルロースについて、過去、現在、そして今後の利用のあり方について考えてみることにします。

1. バイオマスとは

もともとは生態学における用語で、ある範囲（国や特定の地域など）において蓄積されている、動物や植物をひっくるめた生物体の総量（現存量）のことを指します。一方、資源としてのバイオマスは、「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」^[1]と定義されています。具体的にいえ

ば、米やトウモロコシなどの穀類、木材を含む植物資源は、バイオマスとして扱うことができます。また、牛糞や鶏糞などの畜産廃棄物、下水処理場などから発生する汚泥、家庭や食品工場、飲食店から発生する食品廃棄物などもまた、大きな発生量をもつバイオマスとして取り扱われています。この文章では、より狭義のバイオマスとして、植物から取り出すことのできる、デンプンやセルロースなどの、いわゆる「炭水化物」をおもに取り扱うことにします。

2. 植物由来のバイオマスの利用法

(1) 食糧としての利用

言うまでもありませんが、米や小麦などの穀類は、われわれの生活に欠かせない基本的な食用作物です。われわれはこれらの植物の実や種に含まれるデンプンを栄養源として生きています。

(2) 燃料としての利用

食糧としての利用と同じくらい、最も古くからあり、かつ幅広く行われているのが、燃料としての利用です。木材を例に取ってみると、日常生活レベルで最も多い利用法は、かつては燃料（木炭）としての利用でした。現在世界各地で盛んに進められている、バイオエタノールやバイオディーゼルとしての

利用も、多くは自動車用燃料としての利用を目的としています。

(3) 工業原料としての利用

現在の化学工業はおもに石油を出発原料としていますが、これは 1930 年代以降に発達した方法です。それまでは、木材や綿から取り出したセルロースに化学的な処理を行った、セルロイド（硝酸セルロース）やアセテート（酢酸セルロース）が、主要な化学工業材料として用いられていました。また、

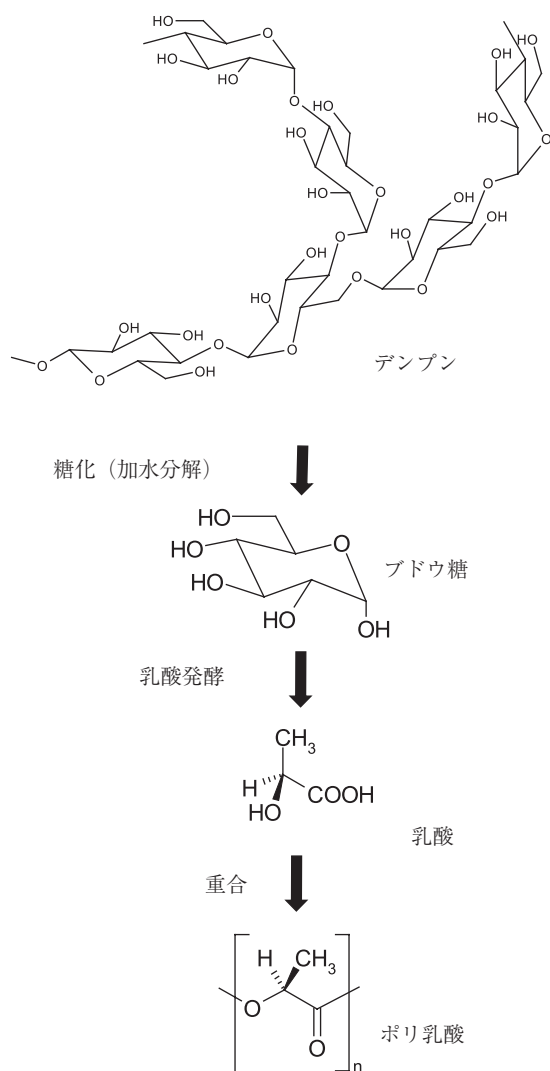


図 1 デンプンからポリ乳酸の合成経路

製紙産業や繊維産業は、木材や綿といった植物バイオマスを現在でも最も大量に用いる産業です。

一昨年の愛知万博で、会場内における食器等の素材として、生分解性プラスチックの一つであるポリ乳酸が用いられましたが、これは植物から取り出したデンプンやブドウ糖を発酵させることにより生じる乳酸を原料としています（図 1）。

3. 可食性バイオマスと非食性バイオマス

バイオマスの利用を考える上で「食べられるものかどうか」ということは、非常に重要な区分です。米や小麦、大豆やトウモロコシなど、多くの食品の原料となる植物（穀類）は、光合成により水と二酸化炭素からブドウ糖を合成し、さらにブドウ糖からデンプンを合成して、実や種の中に蓄えています。われわれはこのデンプンをおもな栄養源としている訳です。このように、人が食用とすることができるバイオマスは、「可食性バイオマス」と呼ばれています。

一方、米を収穫する際、葉や茎は稲わらとして取り除かれ、さらに籾からは籾殻が取り除かれます。また、トウモロコシの芯や茎、サトウキビの搾りかすなど、食用作物においても、食用にならない部分が少なからず発生します。これらの食用にならない部分もまた、ブドウ糖がつながってできるセルロースと呼ばれる物質からなります。こうした人の食用にならないバイオマスを「非食性バイオマス」と呼びます。現状では、いわゆるバイオマスとしての植物資源の利用は、おもにデンプンを中心とする可食性バイオマスに偏り気味になっています。以下にその理由を考えていきます。

4. 非食性バイオマスとしてのセルロース

ここ数年の石油価格の高騰により、エネルギー資源としての石油の代替として、植物を出発原料とする「バイオエタノール」や「バイオディーゼル」の利用が盛んに検討されています。実際、ブラジルなど一部の国では、これらバイオマス由来の燃料がか

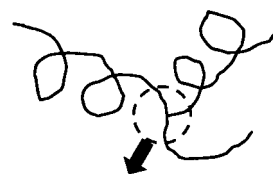
なりの普及率に達しています。しかし、これらの燃料の製造に当たっては、可食性バイオマスである、デンプンやブドウ糖を原料とし、これらを酵母により発酵させてエタノールを取り出しています。一方、非食性バイオマスであるセルロースに関しては、エネルギー資源や工業原料としての利用は十分に行われていないのが現状です。

それでは、同じブドウ糖からできているにもかかわらず、なぜデンプンのほうが資源としての利用が盛んなのでしょうか？この理由はそれぞれのバイオマスが食用となるかどうかと密接に関連しています。

デンプンとセルロースではブドウ糖分子のつながり方が異なり、デンプン分子はらせんをまいたような形となります。この構造は比較的柔軟で、そのためデンプン分子は水になじみやすい性質を持ちます。一方、セルロース分子はまっすぐな棒のような形となります。さらに、このまっすぐなセルロース分子が密に並んで、結晶という規則的な構造を作ります。この結晶の中には水分子が入り込めないため、セルロース分子は水になじみにくくなっています。

エネルギー資源や工業原料としてデンプンやセルロースを用いる場合、基本的にはまずブドウ糖一個一個にまでバラバラにしてやる必要があります。このために酸や酵素による分解を行います。デンプンは水になじみやすいこともあって容易にブドウ糖にまで分解されるのに対し、セルロースを分解するには塩酸や硫酸などの強い酸を用いても、なお高温に加熱したり、圧力をかけたりする必要があります。また酵素を用いる場合でも、セルロースの分解はデンプンの分解に比べてより長時間を要します。これはデンプンとセルロースのそれぞれでブドウ糖分子のつながり方が違い、セルロースのほうはより丈夫で安定な構造を作ることによります（図2）。このように、セルロースはデンプンに比べて非常に分解を受けにくいので、現在ではバイオエタノールやポリ乳酸を作るプロセスにおいて、より分解が容易なデンプンが原料として使われているのです。

(a) デンプン



(b) セルロース

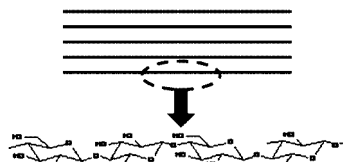


図2 デンプン (a) とセルロース (b) の分子形態の模式図。デンプンにおいては、分子鎖がらせんを巻いたり分岐を持つことで広がった形を取るのに対し、セルロースにおいてはまっすぐな形の分子鎖が密に詰まっている。

もともと、デンプンは生物の体内におけるエネルギー貯蔵物質であり、必要に応じてブドウ糖にばらして栄養源としたり、逆にブドウ糖が余り気味の時はデンプンにして蓄えたりと、合成と分解が容易であるような化学構造になっていると考えることができます。これに対してセルロースは植物の体を形作る物質ですから、強固で容易に分解を受けないような構造になっている訳です。こうした観点からも、そもそもセルロースを分解して使う方が大変であるというのは、ある意味仕方ないことと言えます。

5. それでもなおセルロースをバイオマスとして利用する理由

このように、ブドウ糖にまで分解して利用するのが大変なセルロースですが、それではなぜセルロースをバイオマスとして利用する必要があるのでしょうか？

(1) 植物資源の継続的利用による二酸化炭素固定の促進

現在、二酸化炭素排出抑制のために、再生産不可な化石資源である石油の使用を抑えるさまざまな取り組みがなされていますが、単に石油の消費を抑えるだけでは二酸化炭素の排出抑制は困難です。むしろ積極的に二酸化炭素を固定する仕組みを作る方が有効です。植物は、太陽光のエネルギーを用いて、水と二酸化炭素からブドウ糖を合成し、これをデンプンまたはセルロースの形で植物体にため込みます。こうした作用は植物が生長する際に最も盛んになります。一方、植物は自身を維持するために、ため込んだデンプンを分解してブドウ糖に変え、これを呼吸により燃焼させて二酸化炭素として放出してもいます。いったん成長し切ってしまった植物においては、光合成による二酸化炭素の取り込みと、呼吸による二酸化炭素の放出が均衡するため、大気中の二酸化炭素を固定する働きが低下します。そのため、植物による二酸化炭素の固定作用を維持するには、農作物の栽培と収穫を継続的にを行い、植物資源を最大限に利用することにより、植物の生長過程を保っておく必要があります。

(2) 非食性バイオマスであるということ

現在用いられている、デンプン等の可食性バイオマス由来のバイオエタノールは、上にのべた植物資源の有効利用としては一定の意義を持っていますが、「食べられる」デンプンやブドウ糖を「食べられない」エタノールに変えることは、世界的な人口増加や生活水準向上に伴う食糧需要の増大が進む今日においては、必ずしも望ましいことではないと思われます。また、食用作物の実質部分の大部分は、茎や葉など食べられない部分からできているということからも、これら非食部分の主要成分であるセルロースを資源として用いることが必要であると言えます。

6. エネルギー資源としてのセルロースの利用法の開発

(1) 熱源としての利用

今までにも木炭や薪という形で、木材としてのセルロースは熱源として利用されてきました。現在、これをより大規模に行うために、木くずや故紙を燃焼させるボイラーを用いた発電施設が稼働しています。現状ではおもに工場などの生産現場における電力供給用として用いられています。

(2) エタノール製造原料としての利用

現在ではまだほとんど研究段階ですが、セルロースを原料としてエタノールを製造する試みが近年盛んになりつつあります。2007年には、ごく小規模ですが、木くずをおもな原料としてエタノールを製造するプラントが事業化されています^[2]。現状では年間1400 kLの生産能力を持つのみですが、数年内に4000 kLまで生産能力を引き上げる目標となっています。

7. 工業原料としてのセルロースの利用

現在、プラスチックや繊維などの汎用材料の多くは、石油を精製および分解して得られる、エチレンやプロピレンなどの有機化合物を原料として製造されます。こうした石油を出発原料としての化学合成によるプラスチックや繊維の製造法は、1930年代から40年代にかけて、アメリカで最初に開発されました。それまでは、セルロースに化学的な処理を行った、セルロイド（硝酸セルロース）やアセテート（酢酸セルロース）が、主要なプラスチック材料として用いられていました。しかしながら、工業原料としてのセルロースは、まとまった量を安定して確保しにくいことや、輸送や原料としての精製にかかるコストが石油に比べて高いことから、石油に工業原料としての地位を追われることになった訳です。さらには、セルロース由来のプラスチックを超える性能を持つ石油由来のプラスチックが次々と開

発されるに至り、プラスチック材料としてみた場合だけでも、セルロースを原料とするものはごくわずかなシェアを占めるに過ぎなくなっています。

それでも、衣類用の繊維や特定の用途（人工透析用の膜など）においては、セルロースは他の素材にない特性を活かして利用されています。たとえば、化繊のシャツはアイロンや乾燥機にかけるとすぐ縮んでしまいます。これは化学繊維の素材である合成高分子の多くが、加熱により柔らかくなる性質（ガラス転移および熱溶融性）を持つためです。しかしながら、綿のシャツはアイロンがけや乾燥機でも縮みにくく、また火の粉やたばこの火を当てられても簡単には穴があきません。これは綿の繊維の成分であるセルロース（綿はもっとも高純度にセルロースを含む材料の一つです）がガラス転移や融点を示さず、また熱分解温度が比較的高いことによるものです。

そこで、セルロースのこうした安定かつ丈夫な性質を活かしつつ、より加工性を上げるための試みが、現在でも続けられています。

セルロースは水やほとんどの有機溶媒に溶けず、また加熱しても流動しないため、特殊な組成の溶媒を用いることでしか加工が不可能でした。しかしながら、そうした溶媒は銅などの重金属を含んでいるもの（銅アンモニア溶液や銅エチレンジアミン溶液）や、悪臭を放つもの（二硫化炭素のアルカリ溶液）など、扱いにくいものがほとんどでした。現在市場に流通しているセルロース系繊維（テンセル）においては、これらの扱いにくい溶剤にかえて、より扱いやすい溶剤が使用されています^[3]。さらに、近年ではイオン液体と呼ばれる新しい溶剤を用いた加工法が研究されています^[4]。イオン液体は極めて揮発性が低いため、揮発による汚染や引火などの危険がなく、かつセルロースを溶かす力が強いいため、セルロースを加工する溶剤として今後利用が盛んになると考えられます。

また、溶剤を使わないセルロースの加工法として、化学的に処理したセルロースを用いて、熱溶融

による繊維の製造が可能になっています^[5]。今後このような溶剤を用いないセルロース系材料の加工技術も発展することが期待されます。

8. バイオマスの利用プロセスが抱える課題

これまでの石油の利用プロセスのあり方は、経済性を追求したひとつの結果といえます。セルロースやデンプンを含むバイオマスがこれに置き換わるためには、さまざまな課題を克服する必要があります。

(1) 供給・輸送の問題

石油は地下に埋蔵されているため、取り出すには井戸を掘って汲み上げます。このため得られる量に比べて、取り出すために必要な設備が比較的小規模で済むと言えます。これに対し、バイオマスの多くは植物を供給源としますが、植物の生育にはそれなりの広さの土地と水の供給、そして収穫のための手間が必要になります。特に日本の場合、供給地である森林や農地の経営規模が小さく、また広範囲に分散しているので、一か所から大量にバイオマスを集めることは困難です。

さらに、石油は液体である分密度が高いため、タンカーに積み込んでの大量輸送が可能です。一方、植物は重さの割に体積がかさばるので、効率よく運ぶには細かく破碎する必要がありますが、それでも密度としては石油にはかないません。このため供給地（森林や農地）が消費地（都市や工業地帯）から離れるほど、輸送にかかるコストが増大し、割に合わなくなります。よってバイオマスを資源として利用するには、燃料や工業原料に加工するための場所をより多く設置する必要があります。

また、植物の生育は地理的・気候的条件に大きく左右されるため、地域ごとにバイオマスとして用いることができる植物の種類は異なってきます。たとえば、アメリカやブラジルでは広大な農地を活かして、トウモロコシやサトウキビが資源作物として栽培されていますが、同様の手法を日本で取り入れる

のは困難です。一方、日本では稲の栽培が縄文時代後期ないし弥生時代から一貫して続けられており、北海道のように本来稲の生育に向かない寒冷な土地でも、品種改良により稲の栽培が可能となっています。また山がちな土地で森林を維持するための林業技術も高度に発達していますので、バイオマスの供給源としてこれらを利用するのが最も適切ということになります。

さらに、長期的・恒常的な気候条件に加えて、短期的な気象条件による影響も考えなくてはなりません。つい最近のアメリカでも、ミシシッピ川の氾濫により、流域のアイオワ州やイリノイ州でトウモロコシ畑や大豆畑が水害に遭い、今年の作物の収穫が不可能になったというニュースがあったばかりです^[6]。この水害のせいでトウモロコシの市場価格が上昇し、そのあおりでバイオエタノールを含むガソリンの価格も上昇する懸念が伝えられています。

以上のことを考えあわせると、バイオマスを資源として用いるには、石油のようにコンビナートによる大規模集約型の供給体制ではなく、地域や自治体単位での供給体制の構築が必要になると考えられます。しかしながら、製紙産業のように、比較的集約された生産拠点から大量のバイオマス（紙）を生産する体制を確立している産業もありますから、今後こうした産業が資源用途のバイオマスの供給に乗り出すことも考えられます。

(2) 生産における食糧用途と資源用途との兼ね合い

我々日本人にとっては、トウモロコシというと野菜の一種としてサラダ等に入れて食べるというイメージが比較的強いと思われますが、実際にはトウモロコシの最大の用途は家畜の飼料です。アメリカにおけるバイオマス利用では、この飼料用途のトウモロコシを、燃料用途や工業原料用途に振り向けることになっています。われわれが家畜を食料とするということは、間接的にトウモロコシを食べていることと同じなので、資源用途のバイオマスの供給量が増大すれば、その分畜産に振り向けるバイオマスが

減少することになります。最も確実な解決法は農地を拡大することですが、農地の開発には長い時間（10年単位）が必要な上、水や肥料の供給の問題や、担い手である農家の人口の問題があり、単純に実現可能ではありません。現状では限られた農地の中で、食糧用途と資源用途の作物を作り分ける必要があることとなりますが、世界各地で同様の動きが起こった場合、穀物の大部分を輸入に頼っている日本にとっては、食糧供給そのものにかかわる問題となりえます。

(3) 供給の持続性及び消費とのバランスの問題

かなり極端なたとえになりますが、もし、今石油が突然まったく利用できなくなり、石油でまかなわれていた資源およびエネルギーの需要を完全にバイオマスで置き換ええないといけなくなったとすれば、いったいどういう状況が起こるのでしょうか？そのことを考えるヒントが、それほど昔でない時代の歴史にあります。それは第二次世界大戦（太平洋戦争）中の日本です。戦況が不利になるにしたがい、国内における石油の供給量が乏しくなったため、石油に代わる資源として、国内にふんだんにある木材資源を利用することが試みられました。ガソリンの代わりに木炭で走るバス、鉄の代わりに木材を部材として用いた蒸気機関車などがその顕著な例ですが、日常的な熱源としても薪や木炭の使用が増大し、その結果多くの山林が荒蕪地になるという状況が生じました。

このように、資源利用においてバイオマスへの依存度が急激に高くなると、消費の速度が供給速度を超過し、資源枯渇に至るおそれがあります。実際、樹木の生育に必要な期間は、一般におよそ15年から30年で、現在のエネルギー資源としての需要を樹木のみで満たすことは困難であろうと思われます。そのため、現在ではおもにバイオマスをエネルギー資源として用いる向きが強いです。エネルギーの供給方法としては、他の代替エネルギー（太陽エネルギー、風力エネルギーなど）の普及の拡大

や、燃料電池や二次電池の高性能化との組み合わせが必要です。また、エネルギー資源用途にバイオマスを用いる場合も、より成長が速く、短期間で収穫の可能な作物を用いる必要があります。稲は本来熱帯由来で、日照が強く高温多湿な熱帯の環境に適応した高効率の光合成経路を持っている植物（C4植物）のため、短期間で成長します。こうした稲の特徴を生かしたバイオマス利用システムの開発が望まれるところです。

おわりに

現在、日本にける人工林として広い面積を持っている、スギ林やヒノキ林などの針葉樹林は、成長が速く建材としての価値が高いことを理由に、戦時中に過剰に伐採された後の荒蕪地などに大量に植林されたものです。しかしながら、その後のエネルギー革命（木炭、薪から石油へのエネルギー資源のシフト）および海外からの木材輸入の増大に伴い、国内での森林資源の利用は縮小し、現在では国内材の利用は外材の利用に比べて非常に少なくなっています。そのため十分に手入れがされないままになっている人工林が増えています。また、戦後の食糧難の時代に稲の生産を増やすため、多くの水田が開発さ

れましたが、やはり海外からの輸入圧力や食生活の欧米化による需要の低下によって、休耕地化、他の作物への用途の転換や宅地等への転換がなされました。しかしながら、今後資源としてのバイオマスの需要の拡大に伴い、日本国内においても農地や山林の整備および拡大が再度必要になってくるでしょう。長期的な展望に立った食料および資源供給の体制の構築が急がれるところです。

参考文献等

- [1] バイオマス・ニッポン総合戦略，平成 18 年 3 月 31 日閣議決定，農林水産省策定.
- [2] (株) バイオエタノール・ジャパン.
<http://www.bio-ethanol.co.jp>
- [3] 山根千弘，“セルロース溶剤の種類と特徴”，『セルロース利用技術の最先端』第 4 章，磯貝明監修，シーエムシー，2008.
- [4] 大野弘幸，深谷幸信，“イオン液体を用いたセルロース類の省エネ溶解”，『セルロース利用技術の最先端』第 10 章，磯貝明監修，シーエムシー，2008.
- [5] 2006 年 10 月 5 日，(株) 東レ プレスリリース.
<http://www.toray.co.jp/news/rd/nr061005.html>
- [6] 2008 年 6 月 19 日，共同通信.
<http://www.47news.jp/CN/200806/CN2008061901000077.html>

琵琶湖の有機性汚濁は改善しているのか？

——BOD・COD 乖離現象の要因に関する一考察——

岸 本 直 之

Naoyuki KISHIMOTO

理工学部環境ソリューション工学科 教授

Professor, Department of Environmental Solution Technology



1. 有機性汚濁とその指標

皆さんは琵琶湖を見てどのように思われるだろうか。きれいと思われる方もいれば、澱みや湖岸に浮いているゴミを見て汚れていると感じられる方もいるかもしれない。

本稿で話題として取り上げるのは琵琶湖の有機性汚濁である。有機性汚濁とは水中に溶け込んだり、懸濁している有機物による水質汚濁のことをいう。前述の浮遊ゴミは景観の点から大変問題であるが、琵琶湖岸に集積しているために目立つのであって、琵琶湖全体に浮遊ゴミが大量に漂っている訳ではない。そこで有機性汚濁を考えると、そのような粗大な浮遊ゴミは除外し、直径2 mm 以下の微細な有機物粒子や溶解性の有機物を対象としている。

日本のおもな湖沼や河川、海域には環境基準が設定されている^[1]。有機性汚濁に関する環境基準には河川で用いられる生物化学的酸素要求量（Biochemical Oxygen Demand：BOD）と湖沼や海域で用いられる化学的酸素要求量（Chemical Oxygen Demand：COD）がある。20℃の温度で5日間かけて好気性細菌により水中有機物分解を行わせたときに、有機物分解に伴って消費された酸素の量をBODという。だから、BODは生分解可能な有機物量の指標

となる。一方、CODは水中有機物を過マンガン酸カリウムという酸化剤を含む硫酸酸性下で100℃、30分間加熱分解したときに消費される酸化剤の量を酸素量換算したものであり、化学的に酸化分解可能な有機物量を表す指標である。有機性汚濁は、歴史的に水域における酸素の消費・嫌気化という点で問題を引き起こすことが多いため、BODもCODも酸素消費量として有機物量を評価している。湖沼や海域と河川で用いる指標が異なるのは、水域内での酸素消費という視点に依っている。つまり、河川では水がすぐに流れて入れ替わってしまうために、短時間で酸素を消費する物質（BOD）のみを規制の対象とすれば十分であるが、湖沼や海域は水の滞留時間が長いので、ゆっくりと分解し、酸素を消費する生分解性の低い有機物も規制する必要があるということで、生物に依存しない有機物指標（COD）が用いられている。ただし、BODもCODも有機物の一部を測定する手法であり、図1に示すように有機物には「BODにのみ分類されるもの」「CODにのみ分類されるもの」「BODにもCODにも分類されるもの」「BODにもCODにも分類されないもの」があることに注意が必要である。

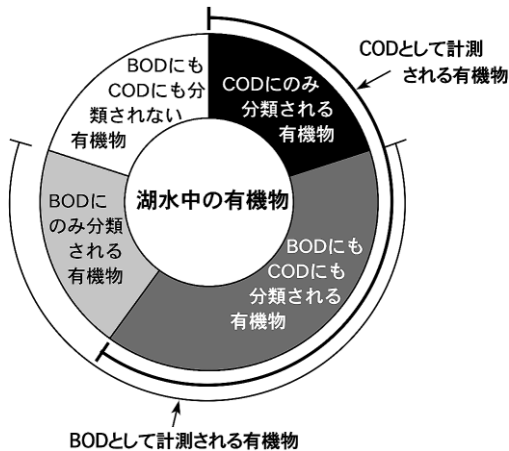


図1 湖水中の有機物の内訳

2. 琵琶湖の有機性汚濁の状況

図2に琵琶湖北湖のBOD, CODの経年変化を示す^[2]。流域人口の増加や産業の発達により、琵琶湖の有機性汚濁は1980年頃まで悪化の一途を辿っていた。しかし、粉石礫使用推進運動や琵琶湖富栄養化防止条例の施行（1980年）、下水道の普及により琵琶湖の有機性汚濁は改善し始めた。しかし、1984年頃からBODは低下するもののCODが逆に増加する現象が認められるようになった。これをBOD・COD乖離現象という。最近ではBOD, CODとも横ばい傾向にあるものの、BODとCODの乖離は現在でも認められる。この要因については現時点で

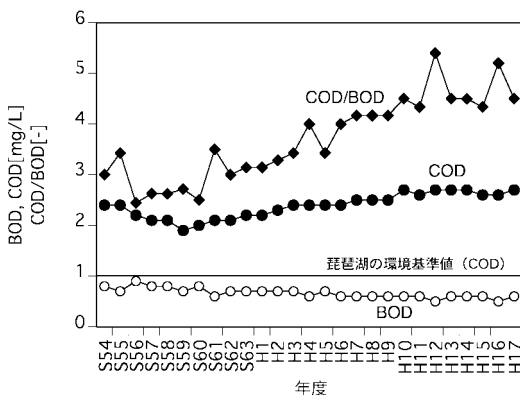


図2 琵琶湖のBOD, COD経年変化

明確になっておらず、特に琵琶湖の環境基準はCODで規定されているため、CODが減少しないということは湖沼管理上の大きな課題となっている。

3. BOD・COD乖離現象の要因

3.1 物質収支の観点

琵琶湖のBOD・COD乖離現象はなぜ起こるのだろうか？その要因を考えるに当たって湖沼における有機物収支について見ておこう。

湖沼は外界から隔てられた大きな水たまりではなく、河川や地下水等として集水域に降った降水や社会活動に伴って発生した排水が流入し、流出河川等を通じて流出している。流入水にはさまざまな有機物が混入しており、流入に伴って湖沼に有機物が負荷される。これを流入負荷という。一方、流出水にも湖沼水と同じ濃度で有機物が含まれており、流出に伴って有機物は湖沼の系外に排出される。これを流出負荷という。さらに、流入・流出以外に湖沼の中では植物プランクトンに代表される生産者が光合成によって有機物を生産する。これを内部生産という。流入した有機物や内部生産された有機物の一部は細菌の働きで分解され、一部は湖底に沈殿・堆積する。湖底に堆積した有機物はそのまま湖底に留まっている訳ではなく、好氣的・嫌氣的な微生物分解作用を受け、一部は可溶化して再び湖沼水に供給される。

以上のような湖沼での有機物の挙動を概念的に表したものが図3である。このように湖沼には有機物量を増大させる作用と有機物量を減少させる作用が働いており、式で表すと以下の通りとなる。

$$V \frac{dC}{dt} = L_{in} - L_{out} + L_G - L_D - L_S + L_E$$

ここで V ：湖沼の容積、 C ：有機物濃度、 L_{in} ：流入負荷、 L_{out} ：流出負荷、 L_G ：内部生産、 L_D ：内部分解、 L_S ：湖底への沈殿、 L_E ：湖底からの溶出である。 dC/dt は有機物濃度の時間微分であり、有機物濃度の変化率を表している。 dC/dt が正になれば、

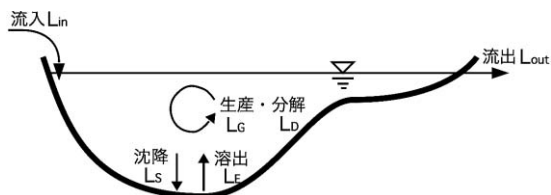


図3 湖沼における有機物挙動

言い換えれば、有機物を増やす作用が減らす作用よりも大きくなれば、湖水の有機物濃度は増えていくことになる。以降、それぞれの因子について見ていこう。

3.2 流入負荷は増えているのか？

図4に滋賀県へのCOD流入負荷の経年変化を示す^[3]。滋賀県では下水道の整備が急ピッチで進められ、下水道の普及率は全国でもトップクラスにある（2006年度末で82.2%）。その結果、下水道の普及とともに家庭排水からの流入負荷は確実に減少している（図5^[4]）。工場排水系も減少しており、森林や農地、道路等の面源からの流入負荷を合わせた総量を見ても流入負荷が減少しているということに疑問の余地はない。一方、流出負荷は琵琶湖水中濃度に流出水量を乗じて求まる。琵琶湖水質と瀬田川流量・琵琶湖疎水流量・宇治発電用水量より求めたCOD流出負荷は2000年で約16,000 ton/年である。琵琶湖南湖のCODの上昇は北湖に比較して緩やかであるため、COD流出負荷は過去からそれほど増加していない。その結果、流入・流出の差として求まる有機物負荷は近年減少している。よって流入負荷、流出負荷にCOD上昇要因を求めるのは必ずしも適切とは言えない。

3.3 内部生産過程が原因か？

流入負荷、流出負荷が原因でないとすれば次に考えられる要因は内部生産である。図6は植物プランクトンの組成および量（バイオマス）の変化を示す。これを見ると植物プランクトンのバイオマスは近年減少し、従来はほとんどいなかったラン藻や鞭

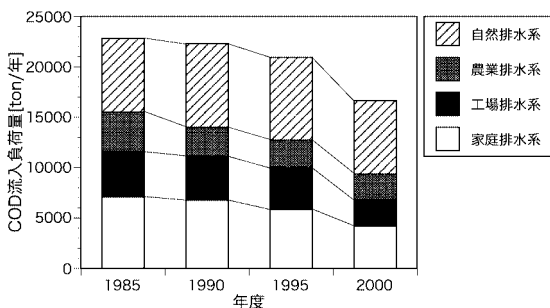


図4 琵琶湖へのCOD流入負荷

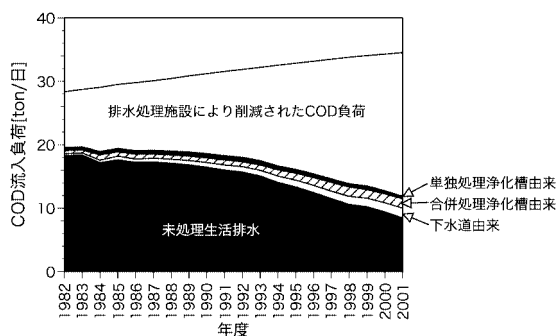


図5 琵琶湖への家庭排水系のCOD流入負荷の内訳

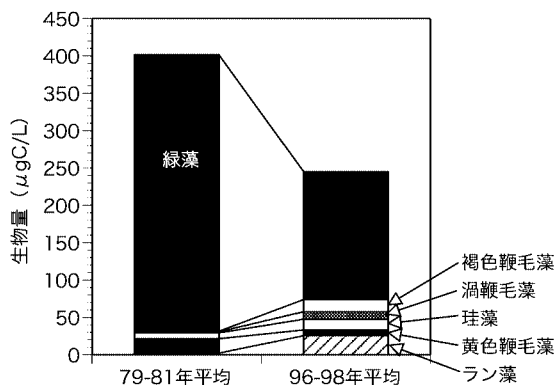


図6 琵琶湖北湖の植物プランクトン組成およびバイオマスの変化

毛藻が増加していることが判る。琵琶湖ではさまざまな水質保全施策によりリン濃度の減少が認められている（図7）。リンは琵琶湖における植物プランクトン増殖の制限栄養塩であり、その結果として植物プランクトン量が減少している可能性が指摘される。一般には植物プランクトンの減少は内部生産の

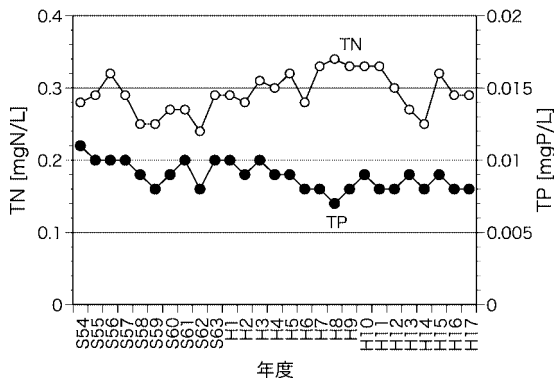


図7 琵琶湖北湖の全窒素 (TN)、全リン (TP) の経年変化

低下を招くため、内部生産が増大しているという仮定は成立しないように思われる。ただし、ここで注意すべきは植物プランクトンの種組成変化である。現在の琵琶湖の植物プランクトン相は過去に比べて大型の種が減り、ラン藻類などの微小な種が増える傾向にある。例えば、この20年ほどの間、大発生がしばしば認められるようになったピコプランクトンなどはその代表例である^[5]。微小な植物プランクトンはバイオマスとしては小さいが、光合成速度が相対的に大きいため、バイオマスの減少から予想されるほどには内部生産は低下していないのかもしれない。この辺りは今後、さらなる調査研究が必要だろう。

3.4 内部分解過程に問題があるのでは？

内部生産についてはグレーゾーンが残るものの植物プランクトン量の減少から考えて、流入負荷の減少を埋め合わせるほどの内部生産の増加が起こっているとは考えにくい。とすれば、内部分解が小さくなり、結果として内部生産と内部分解の差である内部負荷が増大しているという仮説も考えられる。

内部分解を減少させる要因として、リンに代表される栄養塩の減少や集水域からのBOD負荷の減少により、バクテリアの活性が低下した可能性が挙げられよう。特にバクテリアの活性低下に伴って、CODにのみ分類される有機物の琵琶湖内での生分

解速度が低下し、分解されないまま残存する可能性が指摘できる。補足すると、BODは5日間で生分解される有機物量を表しているが、CODのみに分類される有機物は全く生分解しないのではなく、生分解するのに5日以上のかかるだけである。例えば、10日間で生分解される物質があったとしよう。バクテリアの活性が高いときは10日間で生分解するが、もしバクテリアの活性が低くなれば生分解に10日以上時間を要することは想像に難くない。バクテリアの活性はバクテリアが分解しやすい有機物や栄養塩類の量に依存するから、琵琶湖のバクテリアの活性が低下しているとすると、従来であれば琵琶湖の中で分解されていた一部のCOD成分が分解されにくくなり、琵琶湖内に残存・蓄積してCODを上昇させている可能性が考えられる。我々の研究では、生物易分解性基質として下水を極少量添加すると、リグニン様物質であるタンニン酸の生分解性が飛躍的に増大することを実験的に確認しており、上記の可能性は否定できない。

3.5 湖底における物質の授受

琵琶湖への流入負荷と流出負荷の間には(流入負荷)>(流出負荷)の関係が成り立つ。この要因は内部分解や湖底への沈殿により湖水から有機物が取り除かれていることを示している。内部分解は有機物が分解してなくなるため問題ないが、湖底への沈殿は湖水から有機物が無くなるものの、湖底に堆積しているため、湖から有機物が無くなった訳ではない。当然、堆積した有機物の一部は再度、溶出して湖水に回帰することになる。近年、琵琶湖北湖の湖底の溶存酸素濃度が低下する貧酸素化現象が確認されており^[6]、湖底に大量に堆積している有機物の溶出が加速している可能性も否定できない。湖底から回帰してくる有機物は生物分解を受けた有機物であるため、生分解性に乏しい可能性がある。ただし、琵琶湖の湖底からの溶出量についてはデータがほとんどないため、今後の課題として残されている。

4. おわりに

本稿では、物質収支の観点から琵琶湖の BOD・COD 乖離現象の要因を検討した。物質収支から見れば、琵琶湖の内部生産や分解、沈殿、溶出など琵琶湖内部での有機物挙動が BOD・COD 乖離現象に影響している可能性が強いと考えられる。

琵琶湖の BOD・COD 乖離現象の問題点の一つに、BOD, COD がともに有機物の総量を表すものではないということにある。その結果、BOD として測定される有機物が生物・化学的に変化を受けて COD として測定される有機物に変わったり、その逆も起こりうる。物質収支に加え、物質変化過程に着目して要因解析を進めることがこれからの課題である。

参考文献

- [1] 水質汚濁に係る環境基準について、環境庁告示第 59 号 (1971)
- [2] 滋賀県琵琶湖環境部水政課琵琶湖環境政策室, 平成 18 年版滋賀県環境白書 (2007)。
- [3] 滋賀県琵琶湖環境部水政課琵琶湖環境政策室, 平成 17 年版滋賀県環境白書 (2005)。
- [4] 岸本直之, 琵琶湖への家庭排水による汚濁負荷量の推定, 日本陸水学会第 71 回大会講演要旨集, 100 (2006)。
- [5] Maeda, H., A. Kawai and M. M. Tilzer, The water bloom of cyanobacterial picoplankton in Lake Biwa, Japan. *Hydrobiologia* 248, 93–103 (1992)。
- [6] 滋賀県琵琶湖研究所, 琵琶湖研究所ニュースオウミア No. 73 (2002)。

絶滅危惧スポーツ アーチェリー

——弓のメカニズム——

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



1. はじめに

学生に読みやすい記事をとということで、昨年カヤックの記事を掲載していただいたが、もう1つの趣味（ただし、現在は休止中）の話を書いておきたい。

この記事が出るころには終わっているであろうが、今年は4年に一度のオリンピックが開催される年で、多くのスポーツが注目を浴び、多くの人がスポーツを始めたいと思う年でもある。ここに競技人口の減少に悩むスポーツ、アーチェリー（洋弓）がある。絶滅が危惧（きぐ：心配）されているのは動植物ばかりではない。アーチェリーは弓具の価格の高騰と主力メーカーであったヤマハが撤退したことから日本では競技人口が減少している。一方、日本古来のスポーツである和弓はもともと愛好家が少ない。こんなことで、少し失礼ではあるが、マイナーなスポーツである弓道とアーチェリーについて話す。

学生時代に1年半ほど弓道部に所属していたが、キャンパスと道場が離れていたこともあって、あまり練習に参加せず、挫折した。その後社会人になってから図1のように趣味で弓道を行い、10年ほど続けたが仕事が忙しくてこれも挫折した。その間、洋



図1 若かりし頃の勇姿

弓を買ってアーチェリー場に通ったことも少しある。瀬田でもすこしやってみたが、練習場に恵まれない。道具も売っているところがない。そんなことで、現在は弓を引いていないが、エンジニアとしての観点から自分なりに弓のメカニズムについて観察

したことを、和洋の対比を交え記してみたい。専門家ではなく、単なる趣味の話であるから、正確さや厳密さには問題があるかもしれないが、お許し願いたい。

2. 和弓と洋弓

弓は世界中で古くからある武器である。特に遠くの対象を攻撃できる遠隔攻撃の手段として突出しており、弓具の改良もなされてきたが、基本的には弓の弾力を利用して矢を遠くに飛ばすという極めてシンプルな原理で働くものである。

1967年にオランダで開催されたアーチェリー世界選手権に日本代表として和弓で参加した人の記録がある。結果は最下位であった。この結果だけで判断することは早計だが、一般的には命中率という点で和弓は洋弓に及ばないのかなと思う。もともと洋弓は命中率を上げることが目的で、道具も進化させてきた。和弓は的中させるために射技や精神を高め

ようと努力することに主眼があるので、道具の進歩はほどほどにし、与えられた環境の中でどれだけ修練を積むかということが大切である。

日本のものと西洋のものには反対になるものが多いが、和弓と洋弓も考え方に差がある。図2に示すように、和弓は弓の右側に矢を番(つが)える。洋弓の場合、図3に示すように、右利きとして(以下、右利きを前提として記述する)、弓の左側に矢を番える。この場合、矢が放たれる時に力のバランスが急変して左腕が後ろに動くと、矢を横に押すことになるので、洋弓では肩を入れて左腕を動かさない。和弓ではこのことが無いので、後述するように体を開いて左右のバランスをとる。

3. 弓の構造

矢が放たれるとき、弦は矢の筈(はず)を押して矢を加速する。弦は弓の上下端を結ぶ直線に向かって進んでいく。このとき、弓と矢が交わるころには弓の幅があるので、図4に示すように、弦が弓に近付いていくと矢が的(まと)から逸れてしまう。これは不都合である。

これを回避する考え方に和洋の違いがよくあらわれている。和弓では弓の形をあまり変えず、図2に示すように、正面から見て弓全体が少し湾曲して作られており(入木)、矢が中央に来るようにして解決している。一方、洋弓ではずばり、弓の左半分を削って矢が中央に来るようにしている。

和弓ではこのほかに、離れのときに弓返りすることや弓の位置が下に動くこともあり、矢をまっすぐ飛ばす方法はもう少し複雑な現象になる。これについては次章にて述べる。

和弓の弓は長さが標準で2.2mもあり、世界でも特有の大きさを持つ。矢も長く、身長にもよるが83

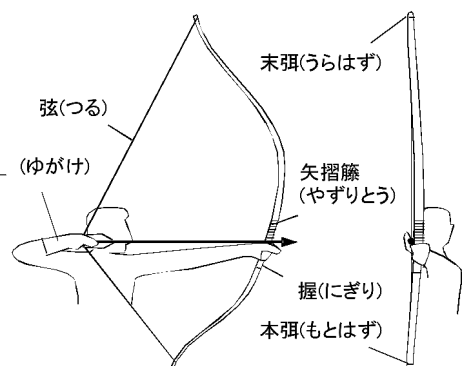


図2 和弓

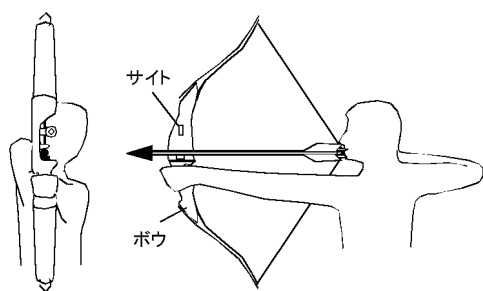


図3 アーチェリー

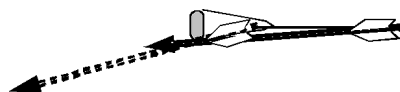


図4 弦の動きと矢のそれ

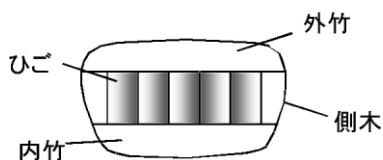


図5 和弓の断面

cm 前後ある。また、通常は弓の中央付近を持つのに対し、弓の下端から約3分の1のところを把持するのも特異な点である。自然の素材を利用しているので、竹の弾性の限界からこのように大きくなったのかも知れないが、弦を引く長さも長く、矢を押す時間が長くなるので、大きくて重い矢を飛ばすのに適している。

図5に和弓の断面を示す。和弓は竹と木の複合材でできている。外竹と内竹の間には3~5本の竹ひごと側木がはさまれている。ひごは横向きで、竹の外側と内側をうまく組み合わせてあって、図2に示した弓の横方向の反りを作り出している。また、ひごは炭化させて強度を増してある。これはゴルフシャフトや航空機に使われている炭素繊維強化複合材を連想させる。徳川時代、すでに素材のいいところを組み合わせて単一材料では得られない強度と反発力を作り出していたのは驚くべきことである。

4. 弓の操作

洋弓の場合は、弓を左手で構え、右手で弦を引いて、的に狙いを付けて放すだけで、極めてシンプルである。

一方、標準的な和弓の引き方は複雑な手順をとる。両手で弓を正面に構え、高く掲げ(打起し)た後、矢が頭の高さになるまで左側に弓と矢を降ろしながら弓を開き一旦停止する(大三)。このとき左肘を内側に回転させることで、左腕は弓を引っぱる体勢から押す体勢に変化する。また同時に左手は弓を握りながら回転して手の内を形成し、指先で弓を持つ。その後、左手は弓を押し、右手は弦を引きながら、矢が頬(ほほ)骨の位置に来るまで降ろし、狙いを付けて矢を放つ。この複雑なプロセスは射手に深

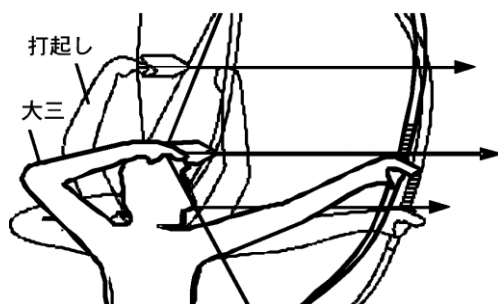


図6 大三



図7 弓返り

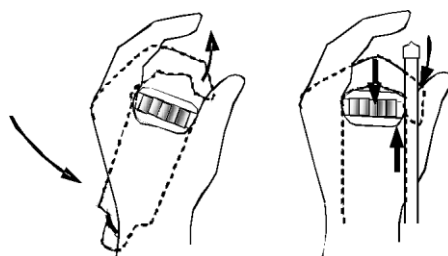


図8 角見の働き

呼吸を促し、胸を開きながら両腕を使った大きな運動になる。また、弓を押し開く力に重力を利用し、腕の回転運動により強い弓を引くことができる。

弓返り(ゆがえり)というのは、図7と図8に示すように、矢が弓から放たれた後に弓が一回転する現象である。これにより、矢を放った後に残る弓のエネルギーをうまく発散させている。弓が回転するのは、前述した弓が少し反っていることとともに、図6に示す手の内(弓の握り方)における角見(つのみ)の働きによる。左手は弓をゆるく握り親指の付け根で弓の右の角を押す。弓の反力が無くなると、この左手の力で弓に回転が与えられる。同時に両手は体の後ろ側に行き、大の字になる。これが実に爽快で、体全体で矢を飛ばす感覚がなかなかたまらない。洋弓では構造上、実現できないことである。

なぜ、弓返りをさせるのか。私はこう思う。矢を

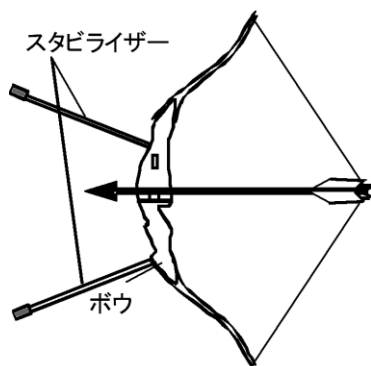


図9 スタビライザー

まっすぐ飛ばすには、離れの瞬間に矢に余計な力を与えないことである。弓を強く握ると、弦を離れた反動で左手がぶれ、左手親指の上に乗っている矢を右側に押す可能性がある。弓が矢から離れる方向に常に左腕に力が働いていれば、弦が離れた瞬間に左腕は左側、すなわち体の後ろの方に少し回転するので、矢は宙に浮くことがあっても矢を右に押す余計な力が働かず、矢はまっすぐ飛ぶ。腕が左に行くことの結果として弓返りする。また、弓返りすることで、左手の握りは自然と緩められ、離れの直後には弓を親指の付け根の一点で支える形になり、矢に余計な力が働かない。実にうまく考えられたものである。道具を変えるのではなく、人間の側の工夫で問題を解決している。

洋弓の場合は矢が弓の左側にあるので弓返りはできず、左手はしっかり固定するしかない。しかし、離れのときの手の振れを少なくするため、洋弓には図9に示すスタビライザー、つまり棒の先端に錘をつけたものをいくつか取り付けて慣性力で安定させている。つまり、道具の工夫で問題を解決している。ここに和洋の考え方の差が出ている。

5. 矢

昔は洋弓の矢は木製で、和弓の矢は竹製であったと思われるが、現在はどちらもアルミ合金/ジュラルミンやカーボン複合材の矢が主流である。軽くて丈夫で良く飛ぶからである。

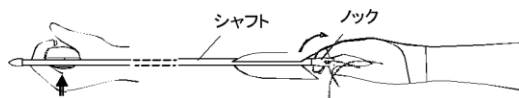


図10 洋弓の矢の押さえ方

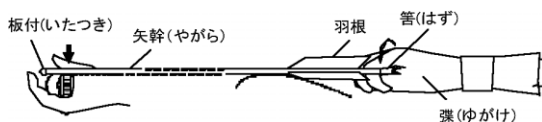


図11 和弓の矢の押さえ方

矢の長さは洋弓の矢のほうが和弓の矢より短い。引き絞ったとき、洋弓の弦は鼻に接するが、和弓の弦は耳の近くまで来る。長くて重い矢は殺傷力が高く、短くて軽い矢は矢飛びが早く、的中率が高まる。

矢を弓に番(つが)えた時、洋弓の矢は羽が当たると軽く逃げるような柔らかい支えを弓に付けて矢を支えている。和弓では親指の上に乗せるだけである。これだけだと、矢はちょっとしたことで落ちてしまう恐れがある。そのため、右手で矢こぼれを防がなければならない。図10に示すように、洋弓の場合は人差し指と中指で矢をはさみ、弦を引っ掛けて引く。このとき、矢には右回転の力が働くので、矢の先端は弓に押し付けられる。和弓の場合は図11に示すように、右手に弾(ゆがけ)と呼ばれるグローブのようなものをはめて弦を弾の溝に引っ掛け、手を内側にひねることによって矢を押さえて矢こぼれを防いでいる。やや難しいので練習が必要である。

6. ねらい

的に対する洋弓のねらいは単純である。洋弓は図12の左側に示すように、弓の左半分を削った凹みにサイト(照準)を取り付けている。右目で見たととき、サイトの真ん中に的が来ればよい。矢が的に当たるようにサイトの位置を調節する。

和弓の場合はまたまた少し複雑である。的は弓と重なって見えないように思われるが、実際は図12の右側に示すように、的は弓を透かしてその中に見

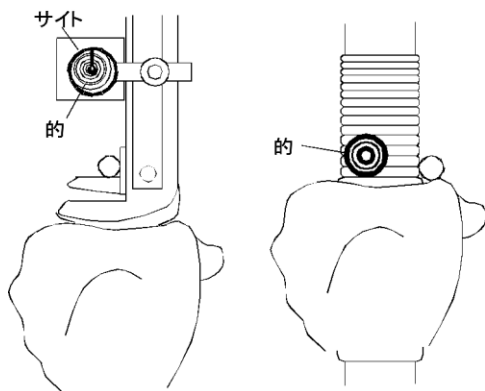


図 12 和弓のねらい

える。実は左目で見た的と右目で見た弓が頭の中で合成されてこのように見えるのである。なんだか立体視の原理を連想させる話である。ここでも和弓の独特の科学が感じられる。

7. コンパウンドボウ

洋弓にはリカーブ式とコンパウンド式があり、最近では命中率の高さでコンパウンド式が大きく普及している。

従来のボウは弓の両端が逆反りしたリカーブボウである。昔は一体構造であったが、今は変形しない中央部分と弾性変形する両端部で構成される3分割式が主流となった。しかし、近年の命中率を驚異的に高める弓の技術があり、米国等で急速に普及している。これがコンパウンドボウである。「ランボウ怒りの脱出」という映画でシルベスター・スタローンが使っているのがこの弓である。これは、図13に示すように、弓の両端に偏心した滑車(カム)があり、弦はこれに巻かれている。弦を引くと弓がしなると同時に滑車から弦が繰り出されていく。図14に示すように、滑車は3本のワイヤで弓のばね力を支えるため、3倍の強いばねを使うことができ、弓がコンパクトになる。

滑車が偏心していることで、弓を引く長さに対する力の変化率を変えることができる。図15は横軸に弦を引く長さを、縦軸にその力を表している。リ

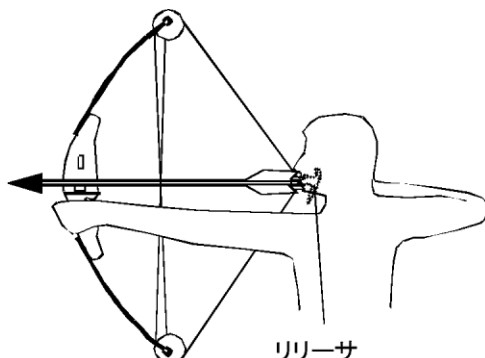


図 13 コンパウンドボウ

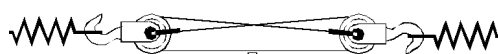


図 14 滑車の働き

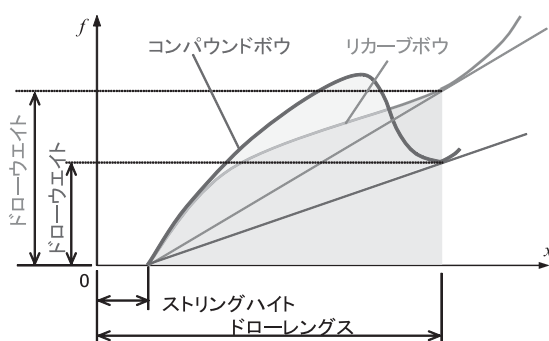


図 15 コンパウンドボウの特性

カーブボウは弦を引くにしたがって力が増加していくが、コンパウンドボウの場合は、弦を引く長さがあるところを過ぎると弦を引く力が減少し、いっばいに引き絞った位置では最大値の半分から1/3の力で弦を保持できる。このため弓の力に全力で耐える必要がなく、落ち着いて狙いを定めることができる。さらに、弓に蓄えられるエネルギーは特性曲線の下側の面積になるので、リカーブボウより大きくなる。このため、矢が速く飛ぶ。

また、リリースと呼ばれる道具を用いて弦を引き、ピストルのように引き金を引くか手首をひねると弦が離れるので、弦を離そうとして指を開くときに発生する矢のブレがほとんど発生しない。また弦

にはねらいをつけるときの目印である照星の一片が付いていて、弓の照準器の中心にこれを合わせ的方向ければ、正確な狙いができる。道具がこれだけ工夫されているため、的中率も抜群にいい。

8. おわりに

弓道とアーチェリーは求めているものが異なるので、同一の尺度で比較するのは好ましくない。和弓もアーチェリーも共に合理的な考え方であるが、体の働きを主として問題を解決するか、道具を極限まで進化させて問題を解決するかの違いである。アーチェリーは的中を求め、技術がどんどん進化している。アーチェリーの競技に和弓で参加しても歯が立たなかった。しかし、弓道は道具の進歩よりそれを使いこなすことに意義を見出すものである。それゆえ、自分自身を高める「道」なのである。

図 16 に示すように、弓道教本の中に次の一文(礼

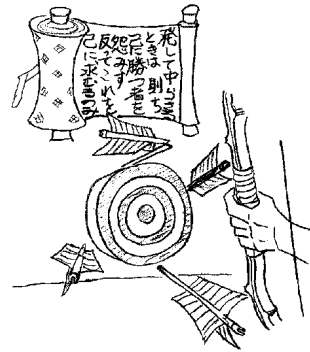


図 16 弓道の心

記—射義)がある。

「射は仁の道なり。射は正しきを己(おのれ)に求む。己正しくして而(しこう)して後発す。発して中(あた)らざるときは、即ち己(おのれ)に勝つ者を怨(うら)みず。反ってこれを己に求むるのみ。

紙容器の数理

——段ボール箱はどの程度効率的か——

大 西 俊 弘

Toshihiro ONISHI

理工学部数理情報学科 准教授

Associate Professor, Department of Applied Mathematics and Informatics



1 はじめに

高校の数学の教科書には、紙箱の体積（容積）の最大値を求める問題が載っている。文系の人々からは、「数学は無味乾燥で、日常生活に役に立たない」という誤解を受けている場合が多いが、紙箱の問題は、誰にでもその意味が分かり、数学の有用性を示すのに適した問題である。そこで、この種の問題を発展させることを考えてみた。

また、我々の身の回りには、段ボール箱をはじめとするさまざまな紙容器が溢れている。例えば、ミカン箱などの段ボール箱を解体してみると、1枚の長方形の厚紙に切れ込みを入れて組み立てたものであることが分かる。本稿では、段ボール箱の作り方が果たして紙資源を節約する上で効率的なのか考察してみたい。

2 普通の箱の意外な関係

【箱の容積の最大値】

縦・横の長さがそれぞれ $2a$, $2b$ である長方形の厚紙の4隅から正方形を4つ切り取って、蓋のない箱を作るとき、箱の容積を最大にするにはどのように切り取ればよいか。

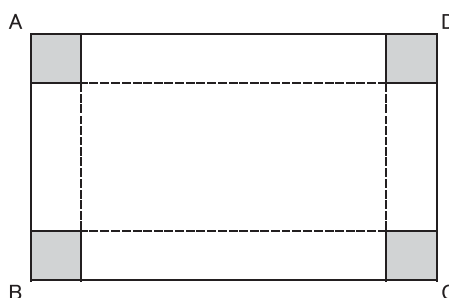


図1 蓋のない箱の展開図

この類の問題は、高等学校の数学Ⅱ「微分法の応用」の単元で、ほとんどの教科書で例題として取り上げられている。（図1参照）

【解答】切り取る正方形の1辺の長さを x ，箱の容積を $V(x)$ とすると

$$V(x) = x(2a - 2x)(2b - 2x) = 4x(a - x)(b - x)$$

展開すると

$$V(x) = 4\{x^3 - (a+b)x^2 + abx\}$$

微分して

$$V'(x) = 4\{3x^2 - 2(a+b)x + ab\}$$

$$V'(x) = 0 \text{ とおくと}$$

$$3x^2 - 2(a+b)x + ab = 0$$

これを解いて

$$x = (a+b) \pm \frac{\sqrt{(a+b)^2 - 3ab}}{3}$$

(この後、増減表を書いて考える。以下省略)

教科書では、上記の問題の後、「蓋のある箱」について考えさせるものが多い。私は、図2のような展開図で得られる箱を考えていたが、実は図3のような箱も実現可能であることを近年知った。

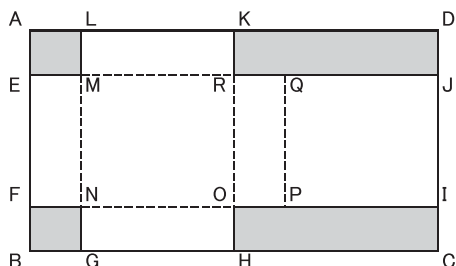


図2 蓋のある箱(1)の展開図

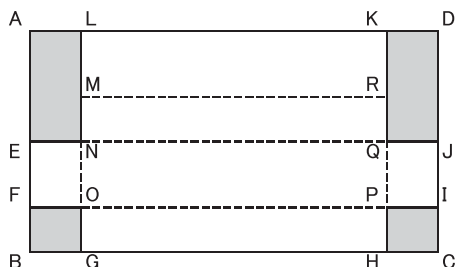


図3 蓋のある箱(2)の展開図

約80名の大学生に「蓋のある箱」の展開図を描かせてみたところ、ほぼ全員が図2の展開図を描いた。無意識に何らかの先入観が働くのか、これほど極端な差が出るとは意外である。

実は、図1・図2・図3からできる3つの箱の容積には、面白い関係がある。

〈図1の場合〉切り取る正方形の1辺の長さを x ，箱の容積を $V(x)$ とすると

$$V(x) = x(2a - 2x)(2b - 2x) = 4x(a - x)(b - x) \quad \dots\dots ①$$

〈図2の場合〉切り取る正方形の1辺の長さを x ，箱の容積を $V_1(x)$ とすると

$$V_1(x) = x(2a - 2x)(b - x) = 2x(a - x)(b - x) \quad \dots\dots ②$$

〈図3の場合〉切り取る正方形の1辺の長さを x ，箱の容積を $V_2(x)$ とすると

$$V_2(x) = x(a - x)(2b - 2x) = 2x(a - x)(b - x) \quad \dots\dots ③$$

①，②，③より

$$V_1(x) = V_2(x) = \frac{1}{2} V(x)$$

すなわち、「図2からできる箱」と「図3からできる箱」の容積は常に等しく、しかもその容積は、「図1からできる箱」の容積の半分である。

切り取る部分の大きさに関係なく、この関係が常に成り立つのは何とも不思議である。しかし、実際に厚紙で箱の模型を作ってみると、「なるほど」と納得できる。すなわち、図4・図5のように、「蓋のある箱(1)」を2つ合わせると、「蓋のない箱」と同じになる。また、「蓋のある箱(2)」についても同様である。(図6)

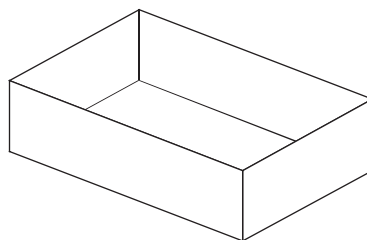


図4 蓋のない箱

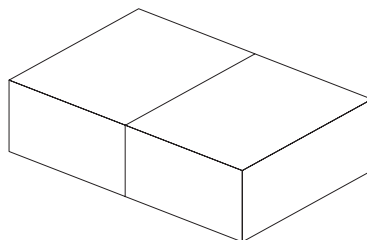


図5 蓋のある箱(1)×2個

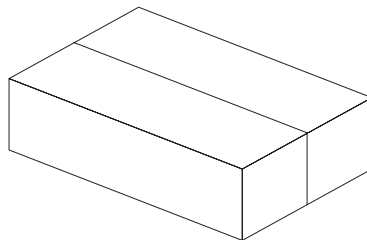


図6 蓋のある箱(2)×2個

上記の3つの箱の相互関係については、私の発見ではなく、元都立高校教諭の黒田俊郎先生⁽¹⁾から教えて頂いたものである。

3 ダンボール箱

段ボール箱には、いろいろな規格・構造のものが存在するが、最も一般的なのは図7のタイプである。「缶ビールの箱」や「みかん箱」がこの構造である。

「蓋のある箱」を作る場合に2つの展開図が考えられたように、縦・横がそれぞれ $2a$, $2b$ である長方形の厚紙から「段ボール箱」の作り方で箱を作る場合にも、図8・図9のような2つの展開図が考えられる。(但し、図7の「つぎしろ」は無視して考えている。)

大きさ一定の長方形の厚紙から箱を作る場合、図2 (または図3) の展開図で作る箱と、図8・図9のような展開図で作る箱とでは、どちらの容積が大きいのだろうか。

〈図8の場合〉外フラップの1辺の長さ (巾の半分) を x , 箱の容積を $V_3(x)$ とすると

$$V_3(x) = 2x(2a - 2x)(b - 2x) = 4x(a - x)(b - 2x) \quad \cdots \cdots (4)$$

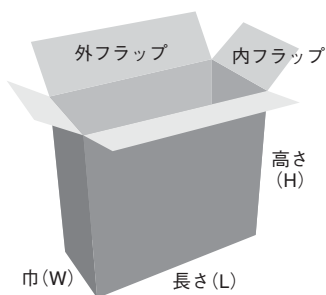


図7 段ボール箱 (A 型)⁽²⁾

〈図9の場合〉外フラップの1辺の長さ (巾の半分) を x , 箱の容積を $V_4(x)$ とすると

$$V_4(x) = 2x(a - 2x)(2b - 2x) = 4x(a - 2x)(b - x) \quad \cdots \cdots (5)$$

試しに、 $a=5$, $b=8$ として、グラフを描くと、図10 のようになる。この場合には、「段ボール箱

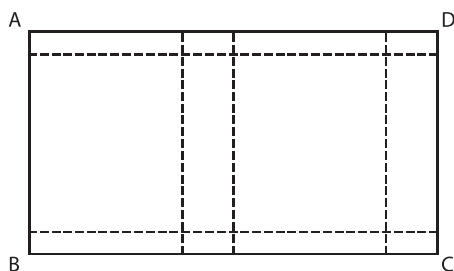


図8 段ボール箱 (1) の展開図

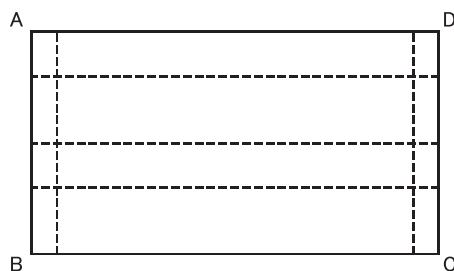


図9 段ボール箱 (2) の展開図

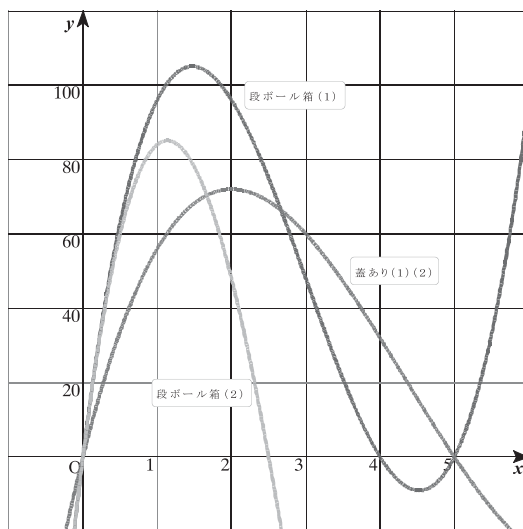


図10 $a=5$, $b=8$ の場合のグラフ

(1)」が最も効率が良いことが分かる。

一般に、段ボール箱は普通の箱よりも効率が良く、段ボール箱同士では、次の箱が効率がよい。

$a < b$ のときは、段ボール箱 (1)

$a > b$ のときは、段ボール箱 (2)

$a = b$ のときは、両者は一致する

4 最近の紙容器

昔の牛乳はテトラパックに入っていたが、最近全



図 11 最近の紙容器 (テトラブリック、フジパック)

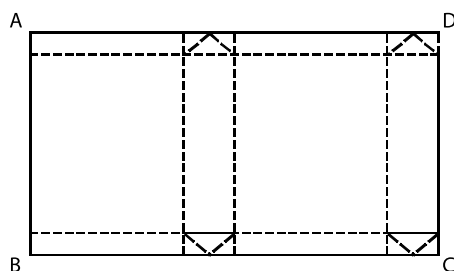


図 12 最近の紙容器の展開図

く見かけなくなった。牛乳をはじめ、最近の飲料類は、図 11 に示すような直方体の紙容器を使用していることが多い。この直方体形の容器の商品名は、「テトラブリック」⁽³⁾「フジパック」⁽⁴⁾といい、展開図は図 12 のようになる。これは図 8 の段ボール箱と基本的に同じ構造である。両者の違いは、段ボール箱では内フラップ) が内部に隠れることになるが、テトラブリックでは同じ部分が外側に折りたたまれて糊付けされることになる。構造が同じであるので、容積に関する考察は段ボール箱の場合と同じである。この容器は、効率が良く、テトラパックと違って積み重ねやすいので、普及したのであろう。

5 今後の課題

簡単な考察ではあったが、身近な紙容器の設計にも数学が駆使されていることが分かった。実際の設計では、糊代の分や容器の強度等も考慮しなければならないので、もう少し複雑な考察が必要であろうと思われる。今後は、それらの要素を加味した考察をしたい。

今年度は、共同開講科目「生活の中の数学」を急遽担当することになった。日々の授業準備に追われ、紙容器の話を取り上げることはできなかったが来年度以降もこの科目を担当することになれば、紙容器の数理としてぜひ教材化したいと考えている。

参考文献・資料

- (1) 黒田俊郎「数学教育法Ⅳ通信 No. 1」
<http://t-kuroda.hp.infoseek.co.jp/4news/news001.pdf>
- (2) 大洋紙器株式会社「段ボール箱工房」
http://www.taiyoushiki.com/toriatu/a_page.html
- (3) 日本テトラパック株式会社「紙容器のいろいろ」
<http://www.tetrapak.co.jp/PRODUCTS/PRODUCTS/package.html>
- (4) 日本紙パック株式会社「フジパックシステム」
<http://www.nipponpaper-pak.com/products/fujipak.html>

インド工科大学カラグプル校との交流

杉 山 吉 彦
SUGIYAMA Yoshihiko

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



1. はじめに

もう 30 年位前のことです。インド工科大学カラグプル校の研究者から、研究上の質問の手紙があり、それに対して、回答したのが、インドの研究者との交流の始まりとなりました。この研究上の交流が契機となり、それでは情報・意見の交換のために私がインドへ行きたいということ、初めてインドを訪問したのは、1982 年の冬でした。日本学術振興会とインド科学アカデミーとの人物交換プログラムに基づき、日本学術振興会の特定国派遣研究者（短期）として、インドに 5 週間滞在しました。この間、カラグプル、マドラス（現；チェンナイ）、ボンベイ（現；ムンバイ）、デリー、カンブールにある五つのインド工科大学を、それぞれに 1 週間を割り当てて、訪問してきました。その後、インド工科大学カラグプル校の研究者と親しく交流するようになり、最近では、1998 年、2004 年、2007 年と、それぞれ約 1 週間の日程で、インド工科大学カラグプル校を訪問しています。

私は、2005 年度、2007 年度、2008 年度の理工学部の国際センター会議委員をしてきました。龍谷大学は、近隣の大学に比べても国際交流の活発な大学です。しかし、理工学部に限って言えば、物質化学

科が、カルフォルニア大学デービス校と学生の交換協定を結び、龍谷大学から毎年留学生を送っている以外、国際交流が盛んであるとは言えません。それで、2007 年 6 月、本学とインド工科大学カラグプル校との間に、学術研究・教育活動促進に関する一般協定を、私が龍谷大学側の担当者となって、締結しています^[1]。今後、この協定が出発点となり、学術研究・教育に関する交流が盛んになることを願って、インド工科大学カラグプル校とインドについて、簡単にご紹介いたします。

2. コルカタとカラグプル

インド工科大学カラグプル校（Indian Institute of Technology-Kharagpur）へ行くのに一番近い国際空港は、コルカタのチャンドラ・ボース空港です^[2]。観光でブッダ・ガヤー、ナーランダーなどの仏教遺跡に行く場合には^[3]、コルカタからが便利です。コルカタは、1690 年、イギリス東インド会社が、この地に商館を置いたのが、都市としての発展の始まりです。イギリスの植民地時代の英語名のカルクタ（Calcutta）は、もともとインドの人たちの間ではベンガル語でコルカタとよばれており、現在は、コルカタ（Kolkata）が正式な都市名になっています。現在では、コルカタは、インドの第 2 の大都会

であり、多様なインドの中でも、とりわけ特異な、ある意味で極めてインドらしい様相を持った大都市です。

インド工科大学カラグプル校は、コルカタから、東へ約 120 km の田舎にあります。コルカタからカラグプルへは、一般的には、鉄道で行くことになります。しかし、インドが初めての人には、コルカタからカラグプルへ鉄道で行くことは、かなりの冒険となります。しかし、インド工科大学カラグプル校へ行く場合は、事前に連絡をとれば、大学の公用車を出してもらえますので、ご安心下さい。今は、コルカタとカラグプルとの間には、舗装された新しい道路が通じています。

カラグプルの近くには、観光の対象になるようなものは全くありませんので、普通の観光案内書には、名前さえ出ていません。写真 1 に、インド工科大学カラグプル校の周辺で唯一、観光の対象になり得るかもしれない、村のヒンドゥー寺院を示します。インド工科大学カラグプル校のキャンパスは、1947 年のインド独立以前には、インド独立の闘士 (Freedom fighters for the independence of India) を収容するヒジリー収容所 (Hijli Detention Camp) があった場所です。キャンパスには、当時の収容所の管理棟やプリズンが残っています。写真 2 に、元収容所の管理棟を示します。現在は、資料館として使われていますが、インド工科大学カラグプル校を立ち



写真 1 村のヒンドゥー寺院

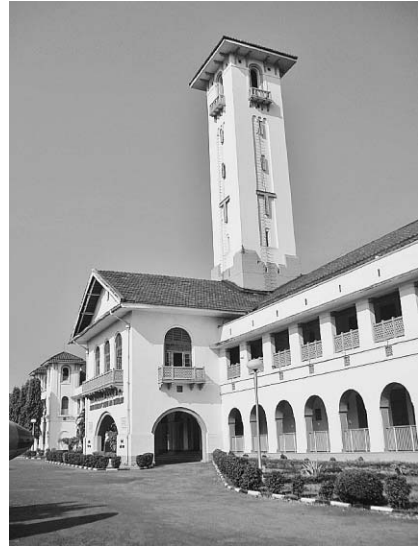


写真 2 元ヒジリー収容所の管理棟の建物

上げる時期には、この建物が、本部として活用されたようです。

3. インド工科大学

インド工科大学 (IITs) は、現在 7 校あります。設立の順には、1951 年・IIT カラグプル、1958 年・IIT ムンバイ (ボンベイ)、1959 年・IIT チェンナイ (マドラス)、1959 年・IIT カンプル、1961 年・IIT デリー、最近になって、1994 年・IIT グワハチ (Guwahati)、2001 年・IIT ロールキー (Roorkee) です。最初に設立されたカラグプル校は、アメリカの MIT をモデルに設立されました。現在でも、高度な研究活動を目指すという設立時の理念に基づき、学部生と大学院生の比率を 2:1 に保っています。インドの外交能力を示す好例と思いますが、カラグプル校は、ネルー首相の外交力により、国連の支援のもとに設立されました。そして、ムンバイ校はロシア、チェンナイ校はドイツ、デリー校はイギリス、そして、カンプル校はアメリカ、の支援を受けています。とにかく驚くことは、チェンナイ (マドラス) は、1962 年からインド・ドイツ技術支援事業をスタートさせて、ドイツから教員組織の支援

(若手の教員を受け入れて、学位をつけて返すなど)、各種の研究・教育設備の支援を受けて、発展してきた点です。ドイツと日本はともに第2次世界大戦の敗戦国であり、本土の興廃は多分ドイツの方がひどかったのではと思われます。また、日本とインドは同じアジアの国であり、インドの人々は日本に好感をもっている事を勘案して、ドイツが IIT を支援していて、日本はインドに何をしてきたのかと、日本の外交の視野の狭さを痛感するばかりです。国際交流でもっとも大切な事は、個人・個人の親しい交流です。この点、欧米諸国は、若い人材を自国に招へいして、育てて、そして母国で活躍できるように配慮しています。私たちは、最初に滞在した外国が、いろいろな意味で、良い刺激を受け、また、良い指導を受けた記憶とともに、一番好きな外国になる傾向があります。国際交流は、長いスパンで、人材を育てることから始めることがキーだと思います。なお、インド工科大学の卒業生のトップ約 20 パーセントが、今も、海外特に米国に職を得るとのことです。

4. 国際会議

1998 年以降に 3 回、インド工科大学カラグプル校に行きましたが、いずれも、当地で開催された IC-TACEM という国際会議に参加するためでした。IC-TACEM は、International Conference on Theoretical, Applied, Computational and Experimental Mechanics の略です。日本語に訳すと、理論・応用・計算・実験力学に関する国際会議となります。誠にインドらしい多様な分野を包含する名称の講演会です。私は、この講演会の国際助言委員会の委員を務め、関連して基調講演をしてきました。ここでは、2007 年 12 月 27-29 日に開催された第 4 回 ICTACEM について、お話しします。この講演会では、これまでの協力が評価されたのか、わたしが主賓 (Chief Guest) として招待されました。開会式典での情景を写真 3 に示します。

写真 3 は、灯油ランプの芯にローソクで火をつけ



写真 3 開会式典での聖火への点火



写真 4 インド舞踊

ているところです。オリンピックの開会式で、聖火の火が大きな聖火台に移される原型は、このような形であったのではと感銘しました。この写真を選んだ理由が、実は、もう一つあります。それは、儀式や行事は、厳粛になされることが大切であると、改めて思ったことです。最近、我が国の各種の行事や儀式が、とりわけ、国公立の大学の行事などは、ますます、そっけなく行われる傾向があります。むしろ、そのようにそっけなく行う事が、いかにも進歩的であるような風潮が感じられます。しかし、行事の最中にも私語がやまなかったり、ざわざわしている現状をみますに、行事のやり方自体にも、厳粛さの演出が必要なのではないでしょうか。写真 4 に、閉会式典でのパフォーマンスのインド舞踊を示しま



写真5 インド音楽の演奏

す。

ダンサーは、航空宇宙工学科の教員の奥様との由でした。また、写真5に、同じくパフォーマンスでのインド音楽の演奏を示します。演奏者は、やはりインド工科大学の教員の家族とのことです。プロのパフォーマーを呼ぶのではなく、学内の人達での演出は、これまでの国際学会の中でも飛びぬけて印象深く、大変に心が温まる演出でした。

招待講演として、NASAの宇宙飛行士である Mike Fincke 博士（空軍大佐）が、“My Life abroad the International Space Station and America’s Vision to Explore the Moon and Extend Human Presence across the Solar System”と題する講演をしました。Fincke 博士は、日本の国際宇宙ステーション活動の支援のため、宇宙航空研究開発機構（JAXA）へ滞在しておられた由で、私たち日本からの参加者とは、懐かしそうに日本語で話していました。写真6に、宇宙飛行士の Fincke 博士との写真を示します。大変にまじめな努力家との印象を持ちました。インド工科大学カラグプル校の航空宇宙工学科の卒業生が、彼と親しく、結果として、彼が招待に応じたようです。しかし、学会の期間中いつも NASA の宇宙飛行士の服を身につけて、多くの人へ笑顔でサービスをしている姿を見ると、宇宙飛行士は、地上でもなかなか大変な仕事であると思いました。



写真6 NASAの宇宙飛行士 Fincke 博士と共に
（右から2人目の青い服が Fincke 博士）

5. 研究生の受け入れ

理工学部には、中国からの留学生を受け入れるなど、学生レベルでの国際交流の努力がなされておりますが、結果として、現状では、日本語をマスターした学生の受け入れとなっています。龍谷大学の学生の英語と英会話のレベル・アップの一つの方法として、英語圏からの学生の受け入れが考えられます。2008年度は、理工学部の英語圏からの学生の受け入れのパイロット・ケースとして、インド工科大学カラグプル校から1名の学生を、短期2か月間、学術研究生として受け入れました。この件の具体的なことは、学術研究生 Romina Datta さんの理工ジャーナルの文をお読み下さい^[4]。

Romina さんは、実は、インド工科大学のカリキュラムでのインターンシップで、龍谷大学に滞在しました。私の知るところでは、海外の大学でのインターンシップは、外国でのインターンシップに力点がおかれ、盛んに実施されています。Romina さんの話では、インド工科大学からアメリカやドイツへのインターンシップなどが多いそうです。またも、ドイツの国際交流の盛んなことが実感されます。若い時に、異文化に触れ、大学生活とは異なる環境・分野を体験することは、考え方を柔軟にする、視野を広げる、将来の職についての識見を得る、など、

人材の育成上も大切な教育と思われます。

6. インド

龍谷大学とインド工科大学カラグプル校との交流も、その目指すところは、日本とインドとのより親密は交流です。21世紀は、アジアの世紀とも言われています。いわゆる戦後における日本の興隆、ついで、韓国の成長、現在は中国の目覚ましい発展が注目されています。意見はいろいろありますが、ここ最近の平均成長率で10パーセント以上を達成しているインドは、今後もっとも飛躍的な経済成長が期待できる国をいわれています^[5-7]。インドは、1947年の独立以来の着実な努力により、いまや、世界の巨象になりつつあります。インドといえば、優れたIT技術者を送り出す国との理解があります。しかし、現在では、ITのようなソフト産業だけでなく、自動車からロケットまで、物づくり分野、ハードウェアの製造業分野においても、目覚ましい実力をつけて来ています。ゼロの発見から仏教の誕生など、すぐれた頭脳を有するインドの人材を抜きに、今後の世界経済と産業をかたることはできません^[8]。

7. あとがき

龍谷大学は、多くの国の大学と交流協定を結んでいます。インドの大学との交流協定は、インド工科大学カラグプル校との協定が初めてのようです。今回のインド工科大学カラグプル校との協定、学術研究生の受け入れなどが契機となり、今後、インドが近い国になり、インドとの交流が盛んになることを期待しております。手元にある資料を参考文献にあげておきます。ご参考下さい。

参考文献

- [1] 杉山吉彦, “インド工科大学カラグプル校訪問”, 国際センター通信, 龍谷大学・国際部, Vol. 2, 2008年3月.
- [2] “インド”, 地球の歩き方, D 28, 2007~2008年度版, ダイアモンド社, 2007.
- [3] 前田行貴, “インド仏跡巡禮”, 東方出版, 1998.
- [4] Romina Datta, “Summer Internship in Ryukoku University”, 理工ジャーナル, 第20巻2号, 2008年.
- [5] 門倉貴史, “今のインドがわかる本”, 知的生きかた文庫, 三笠書房, 2007.
- [6] 堀本武功, “インド; グローバル化する巨象”, 岩波書店, 2007.
- [7] 島田 卓, “日本を救うインド人”, 講談社+α新書, 2008.
- [8] Kamal Nath, “India’s Century”, Tata McGraw-Hill, 2008.

映像の言語と文法（8）

——品詞・ショットサイズという分節単位の抽象カテゴリーと文法規則——

熊 野 雅 仁

Masahito KUMANO

理工学部電子情報学科 実験講師

Senior Teaching Associate, Department of Electronics and Informatics



1 はじめに

現代の文法では、品詞は必要不可欠とされる。品詞が無いなら文法は無いと言われることさえある。すると、映画文法には名詞や動詞などの品詞にあたるものがないから映画・映像には文法など無いとする視点が考えられる。一方、フランスの映画理論家 Berthomieu は、映画文法を記述する着想において、ショットサイズという概念を品詞に見立てた（連載7回4.4）。それは誤ったアナロジー（類比：ある概念を説明するため、他の似た概念の性質や体系を用いること）なのか。ただし、古代ギリシア時代初の Thrax による文法書で、現代の分類に近い八分類とされた品詞（連載4回2.3）は、周辺の課題であった（連載7回5.1）。ではなぜ、現代では文法概念にとって品詞が必要不可欠と言われるのか。

ある記号論者は、品詞を含め、言語単位を扱ってきた言語学者の仕事について、次のように語る^[1]。「記号単位もしくは言語単位（Linguistic Unit）は、言語学者が、ある種、説明のためのメタ言語として構成した類のものである。その目的は、言語の混沌とした異種混交性を体系化して統制可能な指標にまとめ、原理を作り出すことであった。そこで言語学者は、言語全体が基盤とする最小単位（Minimal

Unit）を確立しようと試みたのである。」

21 世紀 COE「統合テキスト科学の構築」の言語部門を牽引する町田は、言語だけでなく、図像、身体技法（手話・ジェスチャーなど）という、人間が事態（テキストが表す意味）を表出する表象体系をテキストとしたうえで、テキストの独自の普遍文法を探求する指針について、次のように語る^[2]。

「テキストの種類が異なっても、事態という人間が共通に認識する対象が伝達されるという客観的な事実を認めるとするならば、諸テキストに普遍的に内在する文法とでも呼ぶことができるものがあるはずである。理論化のためには、これらの記号が表示する事態を構成する要素としての、言語における語に相当する分節単位を抽出することがまず肝要である。そしてその後には、かかる分節単位の分類と、分類語との機能的区分が達成されなければならない。すなわち、言語における品詞設定と同等の作業である。分節単位の設定とその機能による分類が行われて初めて、単位の配置規則を記述し、その記述を説明するための原理系の探求が可能になる。しかし、この配置規則の説明に関与する要素としては、共同体のもつ文化や信念の体系が含まれることが予想されるため、言語におけるほど単純な原理系が存在するかどうかは予断を許さない。さらに、単位

は、(身体技法の場合) 三次元的 (図像は二次元的、言語は一次的) に配置されるため、配置の規則を与える定式は、(言語の) 一次的な配置の場合よりも高度に複雑であることが予想される。したがって、原理系の探求に際しては、記号学や文化人類学において得られてきた知見を十分に活用すべきであると同時に、できるだけ単純な定式化を実現する、数理的分析手法の開発が望まれる。」

つまり、テキストの表象体系を理論的に扱うためには、機能的区分が達成された分節単位の分類 (カテゴリー) に基づく単純な定式化が要請されるとしている。この単純な定式化という言葉の背景には、19 世紀に導入された文法概念への科学的探究 (連載 4 回 2.5) による観察・説明・記述・法則化を背景に、優れた理論は簡潔である、もしくはできるかぎり簡潔であることが望ましい、という科学的な信念・理想が暗示されている。また、説明され、記述される知識は、簡潔である方が後世へ記録・伝承しやすく、教えやすく、学びやすいという都合の良さもある。そのため、無数の言語表現をできるかぎり少ないカテゴリーと少ない法則を用いて抽象構造による説明・記述が可能となる、優れた抽象カテゴリーが要請される。その抽象カテゴリーとして役割を担ってきた一つの分類法が品詞なのではないか。

本稿では、品詞およびショットサイズという抽象カテゴリーとしての分節単位に着目し、その本質の一側面から文法概念との関係を考える。

2 品詞

2.1 品詞の起源は「発話の部分」

西ヨーロッパの言語研究の起源は、他の多くの学問と同じく古代ギリシアに求めるのが至当とされ (連載 4 回 2.1)、その始まりから、言語の考察とは、まず最初に言語をその構成要素に分析することであった。分析とは、ある事柄の内容・性質などを明らかにするため、細かな要素に分けることである。Platon は「文」を「オノマ」(名詞または主部と言えもの) と、「レーマ」(動詞または述部と言

えもの) に大きく二分し、Aristoteles は、「シュンデスモイ」(前置詞、接続詞などそれ自身では意味を持たないもの) を付け加えたという。つまり、初期にはわずかなカテゴリーしかなかったのである。そして、これらの構成要素は、Platon 以来「μερηλογου」と呼ばれた^[3]。これは、ギリシア文字を代用するローマ字表記で表現すると「*merê logû*」となる。

merê は部分、*logû* は実際しゃべった言葉という意味によく使われるらしく、ラテン語では *partes orationis* (発話の部分) と翻訳され、英語ではラテン語の翻訳として *parts of speech* があてられたという^[3]。もともととは、まず第一に、言葉が分節単位で構成される性質に着目して「発話の部分」という名称が付いたのではないだろうか。それをある共通性に基づく規準により、古代ギリシアで重視された分類 (カテゴリー化) の中で、機能的区分が達成された、ある抽象レベルが見出されたのである。ただし、オノマとレーマは、分節された構成要素を名詞や動詞という観点だけでなく、主部と述部という機能単位で分類する観点も内包している。

日本語の品詞は、英語の *parts of speech* を翻訳する際に当てはめられた語である。名詞や動詞などの機能的区分に用いた、相互が対立するカテゴリー化の規準となる性質を詞性と呼ぶならば、日本語の「品詞」という概念は、言葉が分節表現されるという構造的特性や主・述部概念よりも、詞性というカテゴリーの機能面が主役であるように思える。

2.2 品詞の有用性

古代ギリシア語の品詞分類では、名詞や動詞の区別を機能ではなく語形の性質から区別した。例えば名詞の語形、動詞の語形の形式的共通性から分類が行われたのである。古代ギリシア語を含むインド・ヨーロッパ語族では、品詞に基づく語の分類に、語形が利用できるため、文の分節・分類は比較的容易に行える。一方、中国語では、語形変化がないため、語を取り出しただけでは詞性が判別できない。

しかし、語順から語が名詞や動詞と推測できる。その点で、中国語に品詞概念を当てはめることはできるが、西洋文法が適用される近代まで、中国で文法研究は長らく出現しなかった（連載4回5.3）。中国語の指導・学習にとっては、品詞概念よりも、語の意味や文字を書く訓練が重視されてきた。その点で、中国語に品詞が存在するとしても、中国語にとって品詞が有用であるかを問う必要がある。現代言語学的文法は、研究者が言語の使用実体を観察して得られるもので、品詞であろうとも、有用でなければ無理に品詞体系を抽出する必要はない。角田が述べるように、便利なら採用すればよく、役に立たなければ採用せずとも良いのである（連載4回5.6）。

ちなみに、中国語では語順が有用であり、英語は品詞も有用であるが語順も有用である。逆にギリシア語では語順は有用ではない。ギリシア語では、語形の性質により、発想の順序に従って自由に語順を変更できる^[4]が、これは格という文法カテゴリーの性質に関係がある。この点を少し補足しよう。

2.3 格と膠着語・屈折語・孤立語

〈田中が／鈴木の手を／観察する〉は一つの日本語文である。この文の述部（動詞句）を省き、名詞の素材だけを残すと「田中」「鈴木」「手」となる。しかし、この素材だけでは相互の関係が分からない。つまり、もとの文に存在した「が」「の」「を」は、素材どうしの関係を表していることが分かる。文の「素材」となる要素と「関係」を構成する要素とを組み合わせ、文を作るという原理は、どの言語にも共通する普遍的な原理かと思われるが、どのような形式で示されるかは言語によって差がある^[5]。日本語の特徴は、素材を示す語「田中」「鈴木」「手」と、関係を示す語「が」「の」「を」が、形式的に分離しうる形をとる傾向が強いことである。このような傾向の言語を膠着語とよび、**素材的要素が関係を示す要素によって膠（にかわ：動物の皮や骨から作られた古くから使われる接着剤）で貼り着けるかのように結合する特徴を持つ**^[5]。この日

本語の「に」や「が」は**格助詞**と呼ばれる助詞の一種である。この格が顕在化する言語では、〈観察する鈴木の手を田中が〉のように語順を変更しても内容が変わらず意味が読みとれる。つまり、格によって語順はある程度自由になるのである。

これに対し、ヨーロッパの諸言語では、素材の要素と関係を構成する要素とは、同じ形式の中に融合的に表現される傾向が強い。〈I love him.〉の「I」は「私」に相当する素材的要素であるが、そればかりでなく、日本語でいう「が」や「は」などが内包する「**主格**」という関係を示す形でもある。すなわち、**素材的要素と関係構成的要素とが分離できない融合した形**なのである。「him」も「**対格**」が融合されており、一つの要素が「私＋主格」「彼＋対格」など、融合的な性格を持つ類型言語を**屈折語**という^[5]。

中国語〈我愛他〉（私は彼が好きだ）では、素材的要素が表れているだけで、**関係構成要素が顕在的な形をとらない**。これを**孤立語**と呼ぶ^[5]。このような格が顕在化しない言語では、語順が格の代わりを担う。その語順を通じて格が推定され、その上で品詞が同定できるのである。例えば先頭に位置する語「我」が主格、主格の次に位置する語「愛」が述語、その次にくるのが目的語「他」で、この場合は「対格」などである。つまり、語順から「我」や「他」の格が推定でき、名詞と判定できるのである。

2.4 形式以外の意味による品詞分類

中国語の語は、形式から品詞分類ができないと述べた。ただし、「我」「他」という語は、動詞としては用いられないため、少なくとも語の意味からの分類が考えられる。しかし、語彙の意味による品詞分類は、形式による分類ではないため、形態重視派の文法論においては、むしろ語彙論でとり上げられるべきものであり、文法学の対象ではないとする立場もある。もし文法学で扱うにしても、孤立語では、その語は何ら形態的特徴をもっていないため、形態論的には品詞を立てることができない。そうかとい

って、品詞をまったく立てない訳にもいかない^[6]。西洋の文法概念が編み出した言語現象の説明法は、品詞に基づいた説明・記述が基盤となる場合が多いからであろう。こうした視点からも、品詞がないなら文法はないという見解が生まれてくる。

2.5 普遍的な品詞の分類はない？

品詞は、ヒトが用いる数多くの言語で一般性を持つのだろうか。アメリカの言語学者 Edward Sapir は、著書「言語」(1921)で次のように述べる^[7]。

「名詞と動詞の区別がまったくできないような言語は、一つも存在しない（もっとも、特定の場合には、この区別の性質が分かりにくいものもある）。その他の品詞（名詞・動詞以外）については、事情が異なる。他の品詞で言語の生命にとって絶対に必要とされるものは、一つとして存在しない」

これは、ヒトの用いる言語を包括的に観察した際、共通する品詞は動詞と名詞の二種類しかないと言っているように思える。また、アメリカの言語学者 Leonard Bloomfield は、著書「言語」(1933)で、言語要素の普遍性、また、動詞・名詞の区分について、さらに懐疑的に次のように述べている^[8]。

「言語についての唯一の有効な総括は、帰納的総括のみである。普遍的であると我々の考える特徴が、手に入ったすぐお隣の言語に欠けているかも知れない。ある種の特徴、たとえば動詞状（verb-like）の単語と名詞状（noun-like）の単語とが別々の品詞にわかれているといった特徴は、多くの言語に共通するものではあるが、これを欠いている言語もある」

もし、ヒトが用いる言語の共通項に着目して、動詞、名詞、それ以外、という三分類で言語現象を説明しようとすれば、品詞概念の利用上、抽象カテゴリーが少なすぎるとの意見が出てくるだろう。当然、この動詞と名詞の区別を欠いた言語があるとの指摘は厳しすぎるという評価がある。一方、一般的には 10 前後の品詞分類で文法が記述されている。ではどんな方法が品詞分類に導入されているのか。

2.6 品詞の分類には主観が入り込む？

語はいくつかの規準によって分類されるが、分類を行う場合は、一つの規準に従って行うのが理想的な分類とされる^[6]。しかし、品詞を一つの規準によって 10 品詞前後に分類することはできない。

表 1 品詞の分類規準

1. 語の形態	例：名詞や動詞は語形変化にパターンがある
2. 語の語彙の意味	例：動詞は動作・作用を表すもの
3. 語の機能・関係	例：副詞は、動詞・形容詞・副詞を修飾するためのもの

文法を用いてさまざまな言語現象の説明・記述を行うため、その基盤となる品詞分類を導入する際、表 1 に示すような三つの規準が併用されている^[6]。古代ギリシア、Platon, Aristoteles の時代では、ギリシア語の語形変化の特徴から表 1 の 1 のみが品詞分類に用いられたが、一般的な品詞分類では、この三つの規準が適当に組み合わせられているのである。近代言語学は、この品詞分類に対し、次のような点からしばしば批判を加えてきたという^[6]。

「規準が首尾一貫せず恣意的・主観的であること、定義が観念的で漠然としており、矛盾を含む場合があり、品詞によっては包括的すぎて、その中に異質のものを含んでいること。また、この分類がギリシア語・ラテン語という屈折タイプの言語構造に基づいてなされたものでありながら、どんな言語にも適用できる普遍性をもつとア priori に考えられていることなど、要するに、科学性・客観性・厳密性を欠く分類である」

2.4 にも関連するが、特に、表 1 の 2. 意味的規準に対しては最も強く攻撃が加えられたという。構成要素を「動作」や「物の名前」による分類で押し進めると、語の所属が非常に曖昧になってしまうのである^[6]。例えば、意味の規準からすれば、物を表す語は名詞とされる。しかし、オコナイや action は行為を表すけれども、名詞の中に入れられる。また、名詞・動詞・形容詞などは実質的な意味を表す

が、日本語の助動詞や助詞、英語の前置詞や接続詞などは、それ自身実質的意味をもたず、名詞・動詞などに付随して、補助的な、多くの場合、種々な文法的機能を示すにすぎない^[6]。

以上のように、品詞の分類は、形態的特徴、意味、文法的機能、それぞれ相異なる観点・構成から行われており、いかなる言語にも適用できるような普遍的な品詞の分類法は無いのである^[6]。

2.7 副詞はゴミタメ？

近代言語学の品詞分類に対する批判の中で、「品詞によっては包括的すぎて、その中に異質のものを含んでいる」に該当し、特に問題視されるのは副詞である。ある言語学者が言ったという^[6]。

「副詞に至っては、他の品詞に入れられないものはみな、この品詞の中に投げ込まれる。そのため、副詞はゴミタメだ」

しかし、町田は、この副詞の問題点を熟知した上で、二千年も使われ生き残ってきたがゆえに、副詞はそれなり有用な役目を果たしてきたのではないかと指摘しており、認知言語学的説明によって、副詞の存在は悪くはなく、有用と説明している^[9]。以上のように、定義に主観が入り込んだり、曖昧性が含まれていても、有用であれば採用されるのである。

2.8 品詞分類の本質的一面

西洋文法書の祖となる古代ギリシア時代初の Thrax による文法書では、その始まりから八品詞を掲げる品詞論が存在した。しかし、その当時、品詞は周辺の課題であり、詩の批判的評価という文学的観点が最重要課題であった（連載 7 回 5.1）。この紀元前の時代から 19 世紀に至るまで、文法は、雄弁家育成を視野に含めた、言葉をうまく操るための実践論的観点が支配的であった。しかし、19 世紀から 20 世紀にかけては言語の科学的探究が席巻し、「理」の探究が広汎した。その近代言語学的興味の対象である言語現象の説明・記述を行う上で、品詞分類の本質的一面は、意味を表現する分節性を有す

るテキストから、何らかの同等性（共通する特性）に着目した分類に基づいて分節単位を抽出し、その抽象度が高まった抽象カテゴリーを用いて抽象カテゴリー間に宿る法則・規則を見出し、単純な定式化を行い、説明・記述することである。

近代の理の面を重視する言語・文法学者にとっては、研究の対象となる言語現象をいかに少ない説明で網羅的に説明できるかが学者の腕の見せ所となる。もし、抽象カテゴリーを形成できないなら、コトバを抽象化して説明できないことになり、その場合は無限に存在するとも思える無数の文例を個々・別々に説明せざるをえない。しかし、それは非現実的で膨大な作業になることは想像できるだろう。コトバを教える者、学ぶ者にとって、それは大変なことであり、誰も膨大な資料に基づいて教え、学ぶことは嫌うだろう。つまり、まず、できるかぎり少ない説明で網羅的に言語現象の説明を可能とする適切な抽象度を持つ抽象カテゴリーを見出すことが要請されるのであり、その一種として品詞が有用とされてきたのであろう。品詞に基づいた文法がそれなりの成果・役目を果たしてきたからこそ必須なのであり、「文法ゆえに品詞あり」ではないのである。

では、映像にも同様の有用で適切な抽象カテゴリーが設定できるだろうか。まず、映像を構造表現する一例を紹介し、その構造的特徴から分節単位を何にするべきか、探ってみよう。

3 映像の最小単位とショット

3.1 映像の時間的構造

映像は、映像作品で表象する世界の、元となる時空間を四角い枠（フレーム）で切り出した記録物である。元の世界が CG であっても、その仮想世界の記録物となる。図 1 は、横軸を時間、縦軸を分節レベルとしたとき、アメリカの影響が強い、映画の時間分節に基づく分節階層構造の一例である。

ショット（Shot）は、フレームを通して、カメラの記録状態を止めずに一度に撮影された、断絶の無い時空間の断片であるが、実質的に 1 秒間に複数の

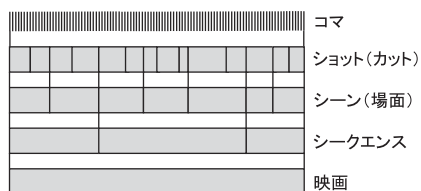


図1 映像の時間的構造の例

静止した画面であるコマが連なって構成されている。単一のコマは時間変化がないため、空間中心の分節と言える。一方、ショットは、コマが持つ空間分節に加え、時間変化を許容するため、時間分節の面も持ち、カメラワーク、フレーム内の被写体の動き、焦点の変更が許容される。特に、アメリカ式の物語映画は、一般的に複数のシークエンス（物語の単位）で構成される。シークエンスは、複数のシーン（場面）で構成され、シーンの時空間を分節して短いショットによりシーンを構成する傾向が高いため、ショットを最小の単位とすることが多い。

3.2 時空間分節としてのショットと語（単語）

結果的に、ショットとは、図2のような時空間の分節単位である。さて、このショットは、語（単語）に相当する単位と言えるのだろうか。

シーンを分節した時間長の短い単位という意味でのショットの概念は、アメリカ映画の父である D. W. Griffith の貢献度が高く、Griffith は、アクションを劇的な目的のためにシーンを分割した最初の監督として一般的に評価されている。この古典的ハリウッドの映画では、すべてのショットは観客が物語りを追えるように、また観客の情緒的感動を高めるように意図されている^[10]。

一方、ソヴィエト・モンタージュ理論では、Pudovkin がショットを単語として分析している（連

載3回3.7）が、レーニンのもと、映画を思想伝達のための視覚的言語（映画語^[11]）に仕立てようとしており、「ショットは単語である」というよりも、むしろショットを単語に仕立てようとした経緯がある（連載3回3.9）。また、フランスの映画理論家で、映画文法試論を出版した Berthomieu は、単語に相当するものとして、ショットの単位を用いて映画言語の分析を行い、文法化に挑んでいる（連載7回4.4）。

このように、ショットの実用的使用、概念の定義が試みられてきたが、ショットという概念は明確な定義がしづらく、多義的であり、曖昧性がある。

3.3 曖昧なショットの概念

ショットの概念には、空間的側面と時間的側面それぞれに偏った使われ方がある。写真などの領域では、構図やアングル、撮影対象に着目した空間概念のみを表す言葉で用いられる場合があり、その意味では、コマが持つ空間分節の意味でショットが用いられることがある。逆に、映像の世界では、時間方向だけに着目した断片として扱われることもある。図1は、その典型例である。特に、映画におけるショットは、切れ目なしに連続して撮影された映像の単一断片を指す意味で、長さに関係なく、カットされて（切られて）いなければ一つのショットとされる場合がある。同様に、ビデオカメラで撮影した場合、録画のスイッチ・オンからオフまでの物理的な連続区間の意味で使われることもある。

ただ、連続しているという意味では、タブロー形式の映像もショットになる。タブロー（tableau）とは、フランス語で額縁や絵画を表し、フレーム内に登場人物を静的に配置させ、印象的な場面、劇的な情景、絵画的な描写を特徴とする19世紀のメロド

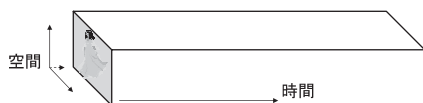


図2 ショット (Shot) という概念



図3 タブロー形式

(a) ショットの継続時間	時間分節	「サブリミナル・インサート」(短い)～「ロング・テイク」(長い)
(b) 撮影対象とカメラとの距離 (ショットサイズ)「ただし ZOOM では見かけの距離」	空間分節	「クロース・アップ・ショット」(近い)～「ロング・ショット」(遠い)
(c) 対象を見るカメラの角度 (ア ングル)	空間分節	「あおり」(下から上向き), 「俯瞰」(上から下向き)
(d) カメラの動き	時空間分節	「ドリー・ショット」, 「パン・ショット」, 「トラッキング・ショット」, 「ズーム・ショット」, 「クレーン・ショット」
(e) フレームの中の登場人物の数	空間分節	「ワン・ショット」, 「トゥー・ショット」, 「グループ・ショット」
(f) 使用される特殊技術		「マット・ショット」, 「ディープ・フォーカス」

図 4 ショットの分類規準の種類^[10]

ラマ舞台の特徴的な形式のことを指している。タブロー形式のショットとは、図 3 のように、カメラが舞台全体を含むよう固定位置からの遠景撮影となる、舞台演劇の単なる録画（撮影された演劇：連載 3 回 3. 1）を示す。その特徴は、カメラの方向が一つしかなく、舞台演劇の幕間のみが削除されたような映像であり、動く紙芝居みたいな映画のことを言う。ちなみに、**多焦点**（一つの場面のいたる所で何かが起こっているため、どこを観て言いか分からない）であることや、**現実性の軽視**（背景が絵であり現実性に乏しい）などの特徴も挙げられる。

このタブロー形式による映像断片は、時空間が連続した断片であるため、ショットと呼べるのである。しかし、一幕をシーンと考えると、このショットは、シーンが未分節のままのショットと言える。これをワンショット・ワンシーンと呼んでおこう。このようなショットは、単語というよりは、文や段落、文章にも類比できる。一方、さらに市民権を得た言い方として、ワンショット・ワンシークエンス（連載 3 回 3. 1）と呼ばれるショットがある。これは、例えば被写体の行動を追従する長めのショットなどで、物語の単位レベルの映像が未分節で表現されるショットである。さて、このようなロング・テイク（長時間撮り）の単位も含めた概念がショットであるとする、分節単位として見る場合のショットは、分節という概念が当てはめにくいものとな

る。また、ショットは、図 4 のように、時間長で分類した (a)、被写体とカメラの距離と結びつき、画面に占める被写体の大きさとも言える画面サイズ（ショットサイズ）による分類 (b)、カメラの向きを上下で分類するアングル (c)、カメラの動きによる分類 (d)、フレーム内の登場人物数による分類 (e)、特殊技術による分類 (f) など、品詞や主・述部の違い以上に、その**分類規準**は多角的であり、これらを含めるとますます曖昧になる。

3. 4 映像は単位が設定できないのか？

では、映像について、品詞分類と同等の作業をショットの単位を用いて分類し、規則を見出し、定式化できないのだろうか。ショットを最小単位や語とする見解には、ショットの曖昧性により、いくつかの異論や反論がある。映画監督や放送局での映像制作経験もある安藤は言う^[12]。

「最小単位が規定できない以上、映画には言語でいうところの体系だった文法のようなものはない」

もし、単位を認定することができないのであれば、現代言語学的視点から映像の組織法（文法）を記述することはできないため、文法は無いという論法が成立するが、それで良いのだろうか。

3. 5 映像に文法は存在しないのか？

映画監督の小栗は、次のように述べる^[13]。

「映像表現に、文法といえるだけの強い縛りをも

った規範はありません。ないことで、映像は論理的な叙述から逃れている、だから豊だ、そういえるかもしれません。しかし明らかに映像を支えている考え方はあるはずで、ただそれが、誰でもああそうかと思えるようには成文化できないのです」

映画文法を研究する今泉は、小栗があえて映画の規範や約束事を「文法」と呼んで、その文法を「読み解いてみよう」としており、小栗は映像文法を学ぶことの大切さを述べているとする^[14]。しかし、現代言語学的説明法を無視せず文法と言うならば、分節単位が必要となる。ちなみに、小栗は、ショットが映像の最小単位であり、文章の単語に相当するという見解を示している^[13]。ところで、言語研究者 bauer は、言語分析が行われていない地域の言語について「この言語には文法がない」と言われることのある事実に意義を唱える意味で、すべての言語に文法があることを証明することは簡単だと述べ、次のような主旨の論法を語っている^[15]。

「架空の言語があるとする。その言語に文法がないという命題を考えてみよう。もし、その言語に文法がないとしたら、その言語の文の表現にどんな間違いも存在しない。例えば単語の並べ方にルールが存在しないため、どんな語順でも正しいことになる。ルールが存在しない文は無い。この命題に矛盾があるため、あらゆる言語には文法がある」

これは、何らかの規則が少しでも存在する表現体には、文法があると言って良さそうな論法である。映像に文法があるとしても、極めて少ないという指摘もある。しかし、少しでもあるとするなら、bauer 流に文法があると見なす立場も考えられる。

ところで、ショットは、単語レベルではなく、文レベルの分節とする見解もある。

3.6 ショットは文か？

映画理論家である monaco は、初期の映画本の近視眼的標準理論において、ショットは映画の「単語」、シーンは「文」、シーケンスは「節」であるとする立場に意義を唱えて次のように語る^[16]。

「単語が便宜的な最小単位だと仮定すれば、ショットについても同じようなことが言えるだろうか。いや、まったくそうは言えないのである。第一に、ショットは時間を要する（時間長がある）。この時間の中で多数の映像が連続して存在する。それでは一つの映像、つまり映画のコマが映画における意味の基本単位となるだろうか。やはり答えは否である。なぜなら各コマは、それに伴うサウンドトラックと同じように（映画が動画と音声に分割できるように）潜在的に（画面内でさらに分節が可能な）無数の視覚的情報を含むからだ。映画のショットは明確な陳述を行い、自己完結しているのだから、文に似た何かだと言えるだろうが、重要な点は、映画がそれほど扱いやすい単位に分割できないことだ」

また、記号学・映画学者である Metz は、次のような主旨の内容を述べている^[17]。

「映画が音素（第二次分節：連載2回4.3）を持たないとすれば、単語を持つことも断じてありえない。若干の例外と、いわゆる偶然を除いて、映画は第一次分節（語レベル：連載2回4.3）には従わないのである。映画の統辞論が陥るほとんど克服不可能な障害は、映像「ショット」を単語として定義し、シーケンスを文として定義するような、その出発点での誤解に基づいていること、これははっきりと指摘しておかねばならない。ほんとうは、（少なくとも映画の）映像は、一つもしくは複数の文に匹敵し、映像の連続（シーケンス）は、言説（ディスクール）としての複雑な線分（セグマン）なのである。当然ながら、ここで言う「文」とは、これから先も、口頭での文を指すのであって、文法学者が相手にする書かれた文（明確に記された二つの句点の間に見出される、多数の断片を持つ複雑な言表（エノンセ））を指すのではない。私が問題にするのは、言語学者が扱う文である。～映画は多くの点で、話される言語活動よりは、書かれた表現を想起させる。けれども、単位のデクパーチュという点を見るかぎり、エミール・バンヴェニストの言う「完結した断定的言表」としてのショットは、口頭の文

に相当する．内容的には単語に相当するかもしれないような映像でも，やはり文として考えざるをえない．たとえば，ある対象を詳細に照らし出すような特殊な場合がそれである．拳銃のクロス・アップは，「拳銃」(純粹に潜在的な語彙単位)を意味するのではない．少なくとも，そしてさまざまな共示的意味(連載2回3.8のコノテーター：次々に想起される裏の意味)には言及しないでおこなうなら，それは「ここに拳銃があるぞ!」ということの意味するのである．ショットを単語と見なせない訳ではないが，結局はある種の言語体系(たとえば幼児語)にみられるような「単語」=「文」(連載6回3.8の一語文)でしかありえない.]

Metz は，言語学者が扱う文として次のような例をあげている．「あの男をよく見てごらんなさい／あそこ／砂の上に座っているでしょ／なんと，彼には昨日会ったのですよ／彼は駅にいました」これは，口頭の五文から成る一連の文と見なせる．文法学者の扱う文は普通，単文が自己完結するが，これら口頭の文は，各文の自己完結性が低く，相互の依存性が高い．Metz は，口頭的な文と文法学者の扱う書き言葉の文を区別しており，上記のような口頭の単一から複数文がショットに相当するとした．しかし，Metz は，後年，「口頭での文」と「書かれた文」の対峙は Chomsky を契機とする文法論の新展開において，あまり意味がなくなると打ち明けている^[17]．

ところで，この一連の議論において，映像の単位に対し，言語学上の分節単位は確定している前提のもとに話が展開されているように思える．さて，そもそも，言語の分節単位は定義が明確で曖昧性を持たないのだろうか？

4 単位の認定

4.1 言語学者による単位(語)の認定

計量言語学者の伊藤は，日本語文法における単語の概念は，学説によりまちまちであり，見解の一致を見ておらず，図5のように，品詞概念に基づいて

(a) 大槻・橋本・学校文法 ワイン(名詞)／が(助詞)／のみ(動詞)／たい(助動詞)
(b) 山田・佐久間・三上 ワイン(名詞)／が(助詞)／のみたい(動詞)
(c) 松下・鈴木・高橋 ワインが(名詞)／のみたい(動詞)

図5 言語単位に関する文法学者による見解の違い

いても，三つの解釈があるとしている^[18]．

(a) は，助詞・助動詞をも単語と認めているが，(c) は，それらを単語と認めていない．また，(b) で助詞を単語と認めているが，助動詞は単語とは認めていない．

このように，日本語という個別言語だけでも単語の定義に違いがあり，単語による分節といえど，これでは実のところ何も言っていないに等しいとの指摘がある．この単語の概念は混乱を招くため，計量言語学では言語単位，あるいはただ単に単位という術語を用いているという^[18]．実は，言語学においても，単語の定義(単位の認定)は，人間が扱う言語に普遍の定義を行うことが極めて難しく，個別言語においても難しい課題であり，この難題を言語学の究極の課題とする立場もある．ここで，言語学大辞典^[6]における「語」の解説を以下に示しておく．

「言葉は，言語の第一分節(連載2回4.3)により，いくつかの部分に分けることができ，その事実から，言語形式を記述するには，ある単位を設定することを必要とする．そして，その単位を伝統的に語もしくは単語と呼んできた．ただし，語という単位は，必ずしもあらゆる言語において明確に抽出できるとは限らない．例えば中国語のような孤立語では，語を定義することは比較的簡単であるが，エスキモー語のような言語では，一つの単位がいろいろな要素の結合からなり，一つの語とみるにはあまりにも複雑で，あたかも一つの文をなしているかに見える場合があるという^[6]．語という単位は慣用的なもので，普通，語と認められているものには，その性格からいっても，またその機能からいっても，さ

まざまなものがあって、これを一義的に明確に定義することは困難である。語に限らず、他の伝統的な文法的術語もそうであるが、すべての場合に通じる厳密な定義は得られない。このような術語を定義するには、典型的な例をもって一応定義しておいて、それを基に、その文法的機能の共通性から他の場合を包括していくほかはない。」

つまり、言語学においても、単位の認定は難しく、単位の典型例を定めて文法記述を少しずつ包括的に広げていかざるを得ないというのが現状なのである。

4.2 記号学者による映画の分節と最小単位

Saussure の概念として、語る主体の意識を通じて出現するのが言語の単位であり、それが記号であると述べた（連載 6 回 2.1）。Saussure の記号では、音声による言語によって概念が説明されているため、断絶のない音声信号が、語る主体の意識の中で分節・認識され、言語の単位となる。Saussure が契機となった記号学では、人間の精神内部の感情や表象が、部分ごとに意味を担った音声単位に対応させられ、表出するような、全体を部分に分割することを分節（articulation）といい、人間の言語に特有の働きとされる^[19]。その分節化により、組み合わせ可能なさまざまな個別の単位が生み出され得る。

連載 2 回 4.3 では、Martinet の「言葉は、まず意味のある単位である第一分節として、形態素（Morpheme：Martinet は記号素（Moneme）と呼んだ）に分節され、さらに無意味素としての第二分節である音素（Phoneme）に分節される」という二重分節の概念を紹介した。また、分節化という概念は、映画記号学において、例えば色彩や照明のような個別のコード（発信源と到達点の間で情報を表示し伝達するために前もって規定された記号体系^[19]）の分節化を分析するときによく使用されるという^[1]。

Metz は、映画のショットや、個々のフレーム（コマ）内のレベルで、既に言葉による対話や文字が自然に含まれる場合があるため、映画それ自体に

は自然言語の二重分節に相当するものはないと指摘しており、ショットやフレーム内の個々の（潜在的）コードが、多コード媒体としての映画を形成し、それらの（潜在的）コードが最小単位を持っていると見なすことも可能だとしているという^[1]。では、フレーム内を領域分割すれば分節できるのか？

記号学者 Pier Paolo Pasolini は、映画言語の最小単位がフレーム（コマ）を占拠する多様な現実の対象物であり、この最小単位を音素との対比で映画素（Cineme）と呼んでいるという。映画素は、組み合わせられて、より大きな単位であるフレーム（コマ）となる。これが、自然言語の形態素に相当するという訳である^[1]。しかし、哲学者 Umberto Eco は、「現実の対象物」を最小単位とすることに批判的である。Eco は、映像の三重分節（Triple Articulation）という映画のコードを提案しているという^[1]。Eco は映像を構成する一次分節を超記号（Seme）と呼んだ。超記号とは、最初に認知されうる意味の単位（「トレンチ・コートを着たギャング」等の観念）である。この単位は、より小さな類像的記号である二次分節（「唇から垂れ下がったたばこ」等の観念）に分割することができる。そして最終的にはすべてが、知覚作用の条件と関わりのある、より根元的な三次分節に分析され得るとしている^[1]。Eco は、どんな場合でも、映画の最小単位が言語学の形態素と等価であることはないと論じる。それは、形態が見える「現実の対象物」によるコードではなく、文化に依存したイデオロギー（観念体系）のコードが、語る主体の意識上の記号として恣意的（連載 2 回 3.4）に認知される。映画の最小単位は、目に見えない観念的単位という点で、目に見える形態素的な単位とは一致しないと述べているように思える。

4.3 アメリカ的典型例としての映像単位

以上のような議論はあるが、単位の典型例を定めて文法記述を少しずつ包括的に広げるアプローチが言語学的に存在した。古典的デクパージュの場合、典型的な映画の部分は何であろう。シーンの時空間

連続性を保持し、断絶を隠蔽するよう仕組まれて分節されるのがアメリカ式のショットである。アメリカ式映画では、この意味でのショットが接続されて、断続が発生するが、その断続の認識は、人間の視覚を通じて行われる。現在の映像は、コマレベルの時間遷移での断絶が視覚特性を考慮して知覚されないよう仕組まれるため、時間変化の断続を意識できる意味での最小単位は時間分節でのショットの単位である。カットなど、ショットどうしの遷移で起こる断絶を認識するのも人間の認知的特性によるものである。また、空間的にも、フレーム外は映らないため、認識できるもう一つの単位は、四角い枠を通して見える空間分節である。従って、ショットはどのレベルの分節単位かは定かではないが、認識プロセスで知覚される時空間の分節単位の一つではある。一方、映画文法にはショットサイズを品詞とする見解があった（連載7回4.4）。ここで、ショットサイズに着目する。

5 ショットサイズ

5.1 絶対的ショットサイズと映画文法

連載7回4.4では、フランスの映画理論家



図6 ショットサイズの急激な遷移の禁止則

Berthomieu によって、「Long Shot から Close Up に飛躍することは、その意外さと視覚的なショックによって観客の注意を引く、意図的な誤りとなる場合もある」（図6）との規範的映画文法が示されていることを述べた。この Long や Close Up は、本稿で絶対的ショットサイズと呼んでいるが、この抽象カテゴリーを用いた映画文法では、各カテゴリーどうしを用いて規範的規則を記述している。

ここで、最小単位の認定を前提とせず、機能的区分が達成される少ない抽象カテゴリーを用いた少ない規則で、定式化が成し遂げられる抽象カテゴリーを探るというアプローチを採用してみよう。

5.2 絶対的ショットサイズという分類

図7の(a)～(d)までは、古典的ハリウッドの技法を継承した系統で現在用いられ、図4の(b)に相当するショットの空間分節に基づいた一つのショットの下位分類規準であり、現代の映像関連書^[20～23]で示されたショットサイズ（Shot size）の絶対名であるが、呼び方にズレや不一致が生じている場合もある。別名ブロッキングサイズ（Blocking size）^[22]ともいい、対象となる空間から枠を切り取る行為をフレーミング（Framing）と呼ぶ。

5.3 各絶対的ショットサイズに対応した機能

もし、絶対的ショットサイズが文法記述に適切な抽象カテゴリーであるとするなら、現代の文法学的

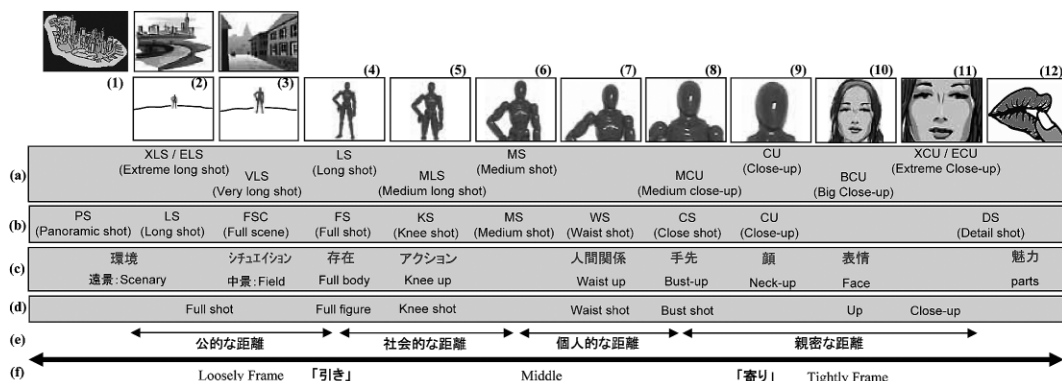


図7 空間の分節と Shot size (Blocking size) (a) : [20], (b) : [21], (c) : [22], (d) : [23]

観点では、そのカテゴリーどうしに単なる区分ではなく、**機能的区分**が達成される必要があった。それぞれのカテゴリーに特有の機能はあるだろうか。

現代のハリウッド映画での映画文法に精通する純丘によれば、各絶対的ショットサイズには、映像表現において典型的に対応する役割があり、図7(c)がハリウッドで慣習的に対応する機能的役割を示している。これは、言語の名詞や動詞という機能的区分とは異なるが、映画独自の機能的区分が典型例として達成されていると見なせる可能性がある。

また、図7の(e)に示す通り、各ショットサイズには、個人もしくは社会上の距離^[22]など、コミュニケーション論的な関係が対応し、背後で機能しているといえる。この抽象カテゴリーは、品詞と同等の分類作業が可能な機能的区分が達成された分節単位の候補に成り得ると思われる。

5.4 さらに抽象化されたカテゴリー

ただし、例えば図6の映画文法は、Long, Close-Upの接続関係として禁止則となっているが、この関係の本質は、急激な変化を起こさないことで意図しない驚きを与えないことにある。また、**視覚的迷子**を引き起こさず、古典的デクパージュ（連載7回6）の観点において、断絶を目立たせず意識させないこと（**断絶の隠蔽**）で、自然な連続性、物語への没入を誘因する規範とも言える。つまり、この規範的規則の役割は、絶対的ショットサイズである Long や Close-Up のみに言える規則ではなく、図7の中でショットサイズの差が大きいカテゴリーどうしに適用できる規範的規則と言える。

この場合、この規則を適用すべきショットサイズの関係は多数の組み合わせが想定されるが、これでは抽象カテゴリーのレベルとして問題がある。あるカテゴリーどうしの間に成立する規則が、別のカテゴリーどうしにも成り立つため、このレベルのカテゴリーでは、共通する性質を抽象化しきれていないことになる。少ない文法記述を目指す立場から見ても、優れた抽象レベルとは言えなくなっている。

そもそも、1900年にClose-Upが映像に適用された時代には、ショットサイズは遠景（Long）と近景（Close-Up）など非常に限られたサイズしか存在せず、その時代に図6のような絶対的ショットサイズを用いて規則を記述することに問題はなかったと言える。しかし、今日では図7のように数が多くなってしまった。図6のような規則を記述するには、記述を少なくでき、本質を表す、より抽象化の進んだ抽象カテゴリーが要請されるのである。その候補が現在放送局でも実用的に用いられている、**相対的ショットサイズ**である^[23]。

5.5 相対的ショットサイズと構文的文法

図7(f)は、ショットサイズの相対的な関係を示し、被写体の周囲がフレーム内に入るものほどルーズ（Loosely）、被写体に近付き、被写体の一部に焦点を当てるほどタイト（Tightly）であり、その中間がミドル（Middle）となる。その相対的關係に基づくショットサイズが、**相対的ショットサイズ**であり、ルーズショット（LS）、ミドルショット（MS）、タイトショット（TS）という三つの相対的關係で示される。また、図6の規則は、このLSからTSとの関係として抽象化されるため、LSからTS、その逆の接続は、効果として意図しないかぎり禁止される。ただし、このLSはMSを経由してTSへ接続することは可能とされる。つまり、MSはLSからTS、その逆の接続を行う上での緩衝剤であり、ショットサイズの遷移を和らげ、連続性を保持しながら接続の滑らかさを生み出す。LSとTSは、MSを経由して接続が可能となるのである。ただし、MSは基本的にはLSとTSをつなぐための経由ショットである点を考慮すると、LSからTS、またその逆に速やかに遷移することが望ましく、その観点でMSからMSへの接続は冗長な遷移と位置づけられ、原則禁止される。また、アメリカ式のショットは、あるシーンの時空間連続性を保持するようショットを分節するため、LSはMS,TSを包含し、MSはTSを包含する関係になることが多く

表2 相対的ショットサイズによるシーンの構文文法

- 1 LS から TS へは接続できない
- 2 MS から MS へは接続できない
- 3 LS から LS へは接続できる
- 4 TS から TS へは接続できる
- 5 基本的に LS は 6 秒, MS は 4 秒, TS は 2.5 秒
- 6 シーンは通常マスターショット(通常 LS)で始める

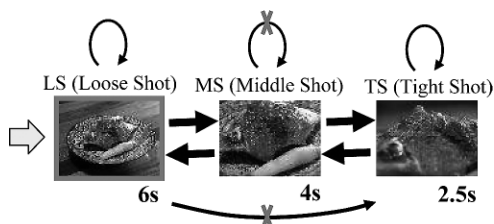


図8 シーンの構文的文法

なる。

古典的デクパージュの影響下にあるこれらの規則は、表2の1~4のような規則群で表される^[23]。この状態遷移図的な表現が図8となる。

表2の5や6の説明は別の機会に譲るが、これらの規則は、相対的ショットサイズを分節単位とした抽象カテゴリーを用いて規則が記述されている。また、分類には機能的区分が達成されなければならないが、LSには、撮影対象(群)の全体像を表す典型的機能、TSはシーンの焦点となる対象を表す典型的機能、MSにはLSとTSの変化を和らげ、視覚的迷子や不用な知覚要素を排除する典型的機能がある。ここに示した分類は、一つの規準ではなく、複数存在しているが、有用とみなすことができるなら、採用すれば良い。

5.6 相対的ショットサイズと曖昧な境界

さて、この相対的ショットサイズには、各相対的ショットサイズに絶対的ショットサイズが成員として対応する点で考慮すべき問題がある。絶対的ショットサイズのいくつかが一つの相対的カテゴリーに収まらず、複数のカテゴリーにまたがって成員となるため、カテゴリーの境界が曖昧となることであ

る。古典的カテゴリー論に従えば、カテゴリーの成員は、またがることなく分類されることが望ましい。しかし、実は、名詞や動詞のような品詞も、言語学上境界は明確でないことが問題となっている。この点でまたがりを許し、典型的な事例と、非典型的・周辺の事例の差を取り込む、カテゴリー論の新展開が20世紀終盤から起きている。その転回の契機となったプロトタイプ理論を紹介しておく。

6 カテゴリー論の新展開

6.1 古典的カテゴリー論からの脱却

人間が出来事を認知し、行動する背景には、受け取った情報を有意意味なまとまりとして作り出す能力がある。このまとまりはカテゴリーと呼ばれ、認知言語学では、メタファー、プロトタイプとともに重要な概念装置であるとされる。

連載4回2.2では、古代ギリシアで、概念をカテゴリーに分類することが学問として重要な位置を占めたと述べた。その古代ギリシアから受け継がれる分類法は、共通する特性を必要十分条件によって規定する。これを古典的カテゴリー論と呼ぶが、これは事例が互いに独立で、容易に分離されうる諸属性を持つ人工的概念には有用な分類法である。しかし、自然概念のカテゴリー化ではうまくいかない事例が数多く指摘されてきた。哲学に由来するこの古典的カテゴリー論は、圧倒的な量の経験的で新しい反証例が提出されているにもかかわらず、二千年にわたり構築されてきた重みを一夜にして無効にする訳にはいかないという気運、もしくは古典的理論の正しい部分は保ちながら、新しい反証例を説明しうる、十分に考え抜かれた代替え理論が最近に至るまで存在しなかったために、あいかわらず古典的カテゴリー論の権威は振るわれ続けた^[24]。そこに新しい息吹を注ぎ込むのがプロトタイプ理論である。

6.2 エレノア・ロッシュとプロトタイプ理論

プロトタイプ理論は、1973年以来、1970年代に行われた、心理学者 Eleanor Rosch らの実験から見

出されたカテゴリーに関する新しい理論である^[25]。例えば自然界のカテゴリー「鳥」という語から想起されるのは、小鳥やカラスなどの空を飛ぶ小動物であり、これらがプロトタイプ（典型事例）となる。一方、体の大きいダチョウや飛べないペンギンなどは典型事例から外れており、非典型的・周辺の事例となる。プロトタイプ理論は、典型事例と類似性から、その非典型的な事例を特徴づけるカテゴリー理論とも言える。古典的カテゴリー論では、カテゴリー内の事例は同レベルで扱われるが、プロトタイプ理論では、そのカテゴリーの成員らしさに差が生じることになる。

6.3 タクソノミーと基本レベル・カテゴリー

あるカテゴリーの諸事例は、さらに下位のカテゴリーに分類できる場合があり、そのカテゴリーのことを下位カテゴリーと呼ぶ。また、逆にあるカテゴリーは、上位のカテゴリーの事例である場合あり、それをもとのカテゴリーに対して上位カテゴリーと呼ぶ。このような諸カテゴリーの階層ないし体系を分類体系（Taxonomy）と呼ぶ^[25]。

日常の事物、例えば「椅子」は分類体系を成し、その上位カテゴリーは「家具」、下位カテゴリーは「パイプ椅子」「木の椅子」など多くの事例が含まれる。それぞれの椅子には共通の特性に成りうる複数の特性を持つ場合がある。これをここでは属性と呼ぶことにしよう。このとき、上位カテゴリーになるにつれて概念としての抽象度が高くなり、包含する

事例数も多くなるが、すべての事例が同時に共有する属性の数は少なくなる。

一方、抽象度の低いレベルでは、属性の多くが別の下位カテゴリーの属性と重なり合い、境界が曖昧になる。Rosch は、1. 各カテゴリー内部で、事例が互いに多くの属性を共有し合い、高い内的共通性を持ち、2. カテゴリー間で、事例が互いに属性を共有し合わず、高い外的独自性を持つ、そのような抽象レベルにあるカテゴリーのことを、具体事物の基本レベル・カテゴリーと呼んだ。また、カテゴリーの各成員の典型性評価において、典型から非典型までの段階構造が現れることをプロトタイプ効果と呼ぶ。ちなみに Rosch は「家具」を上位カテゴリー、具体的な椅子を下位カテゴリー、「椅子」を基本レベル・カテゴリーとしている。

このように、Rosch らは、プロトタイプ理論と適切な抽象度を表す概念として基本レベル・カテゴリーを掲げ、新しいカテゴリー概念を築いた。のちに、これが認知言語学の基礎となって、放射状カテゴリー、スキーマに基づくカテゴリー、ネットワークとしてのカテゴリーなど、ヒトの認知機構を反映した数多くのカテゴリーモデルが形成されていくのである。

ところで、図9は、プロトタイプ理論を参考に絶対的・相対的ショットサイズを分類した体系の試論的候補である。Pasolini の映画素や Eco の三重分節は、フレーム内の分節体系であるため、絶対的ショットサイズより下位にあり、図4のショット分類規

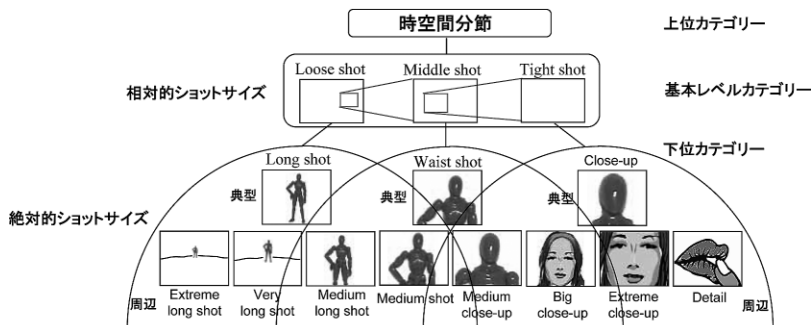


図9 プロトタイプ論的ショットサイズのタクソノミー

準は上位にあると考えられる。そのため、このタクソノミーは、より包括的な分類体系の中で実現すべきものであるため、まだ未完の代物にすぎない。

6.4 品詞の再検討

古代ギリシア以来の伝統的な品詞のカテゴリー形成では、言語表記上の語形の共通性や、文の構造的特性の記述が基盤となるが、**隠喩**や**換喩**、**意味の仕方**等を取り込んでいないなど、**人間の認識プロセス**や**意味の仕方**を基盤にした分類ではないため、認知言語学では、古来の方法が、カテゴリー形成の「何が本質か」について優れた到達点には至らないまま、品詞分類が文法記述の中心的役割を担ってきたことを問題視している。例えば、機能文法を信奉する言語学者 Williams は、品詞に基づく文法が、テキスト内でどのように**意味が構築されるか**を教え、理解させるのにはあまり向いていないと指摘する^[29]。品詞は、構造表現に貢献したが、意味の仕方の記述にはあまり貢献しないとの見解である。

また、品詞を最初の単位に置かない考え方がある。古くは、構造主義に傾倒する Bloomfield により、「行為者」の位置に現れる語群が「名詞」，「行為」の位置に現れる語群を「動詞」とする形式的条件から品詞の定義が試みられている^[27]。つまり、構造的関係が先にある。また、William Croft の徹底した構文主義では、品詞が先か構文が先かを問うなら**構文**が先で、構文から名詞、動詞、形容詞などの品詞が派生するとの見解がある^[28]。品詞より、**構造・構文**が先に存在するという立場である。

一方、認知言語学では、新しいカテゴリー論で品詞の分類法が検討されている。伝統的な定義では、**名詞**は人やものや場所を、**形容詞**は性質を、**動詞**は動作を表すとされた。この定義はそれなりに説得的であるが、動作や属性を表す名詞（動き、重さ）があるなど、不完全であるという。冒頭に記載したように、カテゴリー化には、機能的区分の達成された分類が望ましい。Croft は、語彙としての典型的な意味クラスと、文中での実使用上の典型的な機能

（語用論的、統語機能）という、品詞のプロトタイプ（典型）を定める試みを行っている。**名詞**はものを表し、**指示**に使われる。**動詞**は動作を表し、**叙述**に使われる。**形容詞**は属性を表し、**修飾**に使われる^[26]。このように、テキストの単位をめぐる理論化は、まだ研究の途上にあるといえる。

7 むすび

文法記述の柱となる品詞そのものが再考されている事情を述べた。その点では、言語学・文法学も新たな段階に向かっている。認知科学者の大津は、言語・文法に関する研究成果が、最近まで極めて限られたものしかなかったとし、その理由の一つとして、文法理論研究の未熟さにより、真に興味深い研究を行うための見通しに欠けており、言語学者と脳科学者の有機的な共同研究の体制が整っていなかったため、多くの研究は極めてナイーブな言語・文法観に基づいたものであったと指摘している^[30]。

また、町田は言う。学校で勉強する文法は、おおよっぱに言って、文中で使われる一つ一つの「単語」がどんな働きをしているかを説明したものである^[31]。この点において、町田は、我々に馴染みの文法は、「**文全体**」について何らかの分析をした結果を必ずしも示していないことを指摘している。コトバは、何らかの事柄を他の人に伝えることを目的とすることが基本にあり、**事柄を表すコトバの単位**は「**文**」であることから、「**文**」の「**法**」、つまり文法は、「**語**」の「**法**」ではなく、「**文全体を対象にする**」ことが**本筋**ではないかと指摘している^[31]。つまり、単語レベルではなく、文レベルの分類体系を構築して文法を記述する方法論も要請される。この点で、仮に映像のショットが文レベルであるとしても、本筋としての文法学の中でショットが文法記述の抽象カテゴリーとして採用される可能性がある。

本稿では、映像の文法を記述するための抽象カテゴリーの一つとして、空間分節の一種である相対的ショットサイズが分節単位として有力である一面を示した。相対的ショットサイズの各カテゴリーは、

機能的区分がある面で達成された分類となっている。相対的ショットサイズは、絶対的ショットサイズを成員とするが、境界が曖昧であった。しかし、その問題は成員に典型と非典型があり、境界の曖昧さを認めるプロトタイプ理論による分類体系によって記述される可能性が示された。また、相対的ショットサイズは、少ない記述でアメリカ式シーンの分節としてのショットを分類する一つの規準であり、少ない記述でシーン内のショット遷移に関する接続規則を表現できる点で、単純な定式化（構文表記）が可能であった。ただし、この定式化が有用であるかを問わねばならない。また、図4のように、ショットを分類する規準は複数あり、それぞれの規準に基づく抽象カテゴリーによる文法記述が期待される。そして、相対的ショットサイズの上位カテゴリーである時空間分節は、図4の六つの抽象カテゴリーを成員とする高次の分類体系を構築できる可能性もある。

以上から、ショットサイズは、品詞分類と同等の作業を行う意味での抽象カテゴリーとして捉えられる可能性を持つが、品詞レベルの単位にこだわる必要はないと思える。新展開のカテゴリー理論が文法をより良き概念に仕立てることができるだろうか。効率良く教え、学び、伝承し、効率の良い、もしくは優れた表現のための、そして、表現体の科学的説明を可能とする単純な定式化としての文法が、いかなる方法によって構築されるか、その根底からの問い直しと再体系化が始まっているのである。その点で、映像文法は、ヒトの認識プロセスや表現体の意味の仕方を包括して探究される新しい文法観、記号学の中で、その典型的な成員に取り込まれる可能性がある。

参考文献

- [1] ロバート・スタム, ロバート・バーゴイン, サンディ・フリットマン＝ルイス, 映画記号論入門, 松柏社 (2006)
- [2] 町田健, “記号を支配する普遍文法の探求”, 21世紀 COE プログラム 統合テキスト科学の構築, 第1回研究集会資料, pp. 67-82 (2002)
- [3] 宮脇正孝, “Anselm Bayly の品詞分類の変遷について”, *Asterisk*, Vol. III, No. 7, pp. 367-379 (1994)
- [4] 河底尚吾, *ギリシア語入門*, 泰流社 (1990)
- [5] 金田一春彦, 林大, 柴田武, *日本語百科大事典* 縮刷版, 大修館書店 (1988)
- [6] 亀井孝, 河野六郎, 千野栄一, *言語学大辞典*, 第6巻, 述語編, 三省堂 (1996)
- [7] エドワード・サビア, *言語—ことばの研究序説—*, 岩波書店 文庫版 (1998)
- [8] レナード・ブルームフィールド, *言語*, 大修館書店 (1962)
- [9] 町田健, 町田教授の英語のしくみがわかる言語学講義, 研究社 (2002)
- [10] スティーブ・ブランドフォード, バリー・キース・グラント, ジム・ヒリアー, フィルム・スタディーズ事典—映画・映像用語のすべて, フィルムアート社 (2004)
- [11] 岡田晋, *映画と映像の理論*, ダヴィッド社 (1975)
- [12] 安藤紘平, *映像プロフェッショナル入門*, フィルムアート社 (2004)
- [13] 小栗康平, “NHK 人間講座 映画を見る眼—映像の文体を考える—”, 日本放送出版協会
- [14] 今泉容子, “映画の文法—日本映画のショット分析—”, 採流社
- [15] ローリー・パウワー, ピーター・トラッドギル, 言語学的にいえば・・・ことばにまつわる「常識」をくつがえす, 研究社 (2003)
- [16] ジェイムス・モナコ, “映画の教科書”, フィルムアート社 (1983)
- [17] Christian Metz, “映画—言語か, 言語活動か?—”, *映画理論集成*, pp. 212-262 (1964)
- [18] 伊藤雅光, *計量言語学入門*, 大修館書店 (2002)
- [19] 脇阪豊, 高橋由美子, 川島淳夫, *記号学小辞典*, 同学社 (1992)
- [20] Roy Thommpson, “Grammar of the shot”, Focal Press (1998)
- [21] Dan Ablan, [digital] CINEMATOGRAPHY & DIRECTING 日本語版—3 DCG クリエータのための映画撮影術と監督術—, 株式会社ボーナデジタル (2003)
- [22] 純丘曜彰, *エンターテインメント映画の文法—ヒットを約束する脚本からカメラワークまで—*, フィルムアート社 (2005)
- [23] M. Kumano, Y. Ariki, K. Shunto and K. Tsukada: “Video Editing Support System Based on Video Con-

- tent Analysis”, Proc. of Asian Conference on Computer Vision (ACCV’02), pp. 628–633 (2002)
- [24] ジョージ・レイコフ, 認知意味論—言語から見た人間の心, 紀伊国屋書店 (1993)
- [25] 伊藤康児, “カテゴリーの研究—Rosch を中心とする研究の概観—”, 名古屋大学教育学部紀要 教育心理学科, Vol. 27, pp. 17–32 (1980)
- [26] 坂原茂: “認知言語学とタイポロジー”, 月刊言語, Vo. 23, No. 9, pp. 27–34 (1994)
- [27] 小泉保, 言語研究における機能主義—誌上討論会—, くろしお出版 (2000)
- [28] 中村芳久, 認知文法論 II, 大修館書店 (2004)
- [29] Geoff Williams, 英語教師のための機能文法入門, リーベル出版 (2002)
- [30] 大津由紀雄, “文法の脳科学”, 心理学評論 特集: 言語の脳科学, Vol. 40, No. 3 (1997)
- [31] 町田健, チョムスキー入門, 光文社 (2006)