

可視化における構造表現

齋藤雄志

1. まえがき

雑誌やビジネス書で「可視化」が取り上げられることがある。多様な可視化の技術は、ビジネス、技術、研究、報道・広報、教育などの分野で古くから広く利用されている。国内的には、かつて最も着目された可視化の技術は、故川喜田二郎氏による KJ 法 [1] であろう。産業分野ではかなり以前から QC 7 つ道具、新 QC 7 つ道具という手法 ([2], [3]) が利用されている。情報部門は最も可視化技術が必要な分野であり国際的には UML ([4], [5], [6]) という技術が使われている。ルールとしてはかなり面倒である。可視化の技術はどちらかといえば、技術分野で優先的につかわれてきた。その代表は建築分野の設計図や電子工学分野の回路図である。しかし KJ 法に見られるように文化人類学など多くの分野で広く利用されている。計量経済学分野ではモデルの構造を図的に表現することが古くから行われている。一方では、誤解を回避するためと思われるが法学分野のように伝統的に可視化を避けているように見える分野もある。数学分野も同様に可視化に積極的でない。言語・記号・論理・理念・理論の精密な操作に強いかかわる分野では可視化は難しいのかもしれない。

多少の例外はあるものの、可視化技術は広く利用されている。しかし、分野毎、また開発者毎に可視化のルールが決められている一方、明確なルールなしに可視化が行われていることも多い。当然、それらには一定の合理性と必然性があるのであろう。しかしばらばらのルールあるいは複雑なルールでは利用の社会的限界があることも事実である。緩やかなルールで幾分統一してもよいよ

うに思われる。本論文の目的はこの点にある。

可視化の意味は第1にはわかりやすさ・直観性にある。つまり、複雑な構造を持つならかの「対象」（問題、モノ、現象、思考、知識）を図によって表現しその構造や意味を直観的によく分かるようにすることである。しかし実際には可視化のルールが示されていないこともあり、時には図の意味がかえって見えなくなる場合もある。しかしわかりやすければ可視化技術として十分ということではない。対象をできるだけ正確に構造化することが重要である。構造（要素-関係）のぬけの問題がその一つである。これが可視化技術の第2の意味である。このため、対象の構造をきちんとシステムとして表現することも必要である。建築や情報分野では可視化の基本ルールが設けられている。

できるだけ明確に構造化するということは、対象のシステム性をできるだけ反映させるということである。対象や問題をごく簡単にとらえている段階では、簡単な図的メモだけでも十分だが、それらを正確に認識・分析・評価するにはシステム性は無視できない。工学的対象の場合は対象自身が明確なシステムであり、可視化されても十分なシステム性が確保できれば可視化の意味がなくなる。しかし、ビジネスや社会科学分野などでは曖昧性や複雑性があるので、構造化やシステム性を一定の範囲で追求するという姿勢にとどまる。またシステム性の意味が工学的視点とは同じでない。システム性は、一見すると可視化の第1の目的である直観性と矛盾するように見えるが、対象の構造をきちんととらえるなかで直観性を重視するということが重要である。対象を正しく捉えないのに、ただわかりやすいだけでは意味がない。ただし、情報を要約してわかりやすく重要なポイントだけを示すことも大切であり、「正しく捉える」という意味は対象のすべての要素を詳細に捉えるということでない。

可視化技術をルールの視点で考えるときには汎用性が必要である。従来個別に工夫されてきた可視化技術は、それぞれに優れているが、バラバラであるが故に可視化の一般的方法として限界がある。またUMLのように汎用性があっても複雑すぎるルールは、ビジネスや社会科学の分野で使うにはやや問題がある。対象の構造をしっかりと捉える必要があるのは、必ずしも工学部分野だけで

ない。対象を明確なルールで捉えることはどの分野でも一定のニーズがあると思われる。

2. 可視化：構造化からシステム化へ

最初に可視化に関して、なぜ「システム」ということを持ち出すかについて一言説明しておく。これは従来の可視化技術が不十分ということではない。しかし気のおもむくままに構造化し可視化を行えば、必要な要素や関係がぬげ落ちることがあるし、構造を表現するにあたって目的などが不明確になる場合もあることによる。本報告は、可視化においても、以下で述べるようなシステム性の考え方にある程度注意を払ってもよいのでないかという主張である。

可視化の基本的目的は、図的表現による直観性のある構造化である。構造化とは要素を関係づけるということだがそれだけでは、システム化そのものでない。構造化だけでも一定の意味があるが、可能であれば、直観性重視から構造化へ、さらに構造化を進めてシステム化すべきである。可視化は、第三者にその情報を伝達することに意義があるが、可視化作業を行った本人が、問題や対象を正確に把握するのに役に立つ。正確に言えば、本人が正確に理解できてこそ、第三者に伝達可能となるというべきであろう。もちろん、これらは、作業のコストとベネフィットを考慮しつつ進める必要がある。

ではシステム化という概念をどのようにとらえたらよいであろうか。ここでは、その利用範囲を、ビジネス、あるいは社会科学や人文科学も含めた広い範囲を対象にする。それゆえ、あまり数学的、あるいはシステム工学的なシステム概念は妥当でない [10]。

結論からいえば、ここでは、システムとは、単に部分的にしか要素が関係づけられていない状態、つまり「構造化」を超え、一定の機能あるいは一定の目的に従って、対象を認識できること、あるいは構築できるように要素が関係づけられた構造化と考える。わかりやすく時計の構造を考えよう。たとえば、壊れた時計でも構造化されていると考えることができる。しかし正しく時を刻むという機能（あるいは目的）を持つ時計は、その機能を達成できるように歯

車、動力、針などが構造化されていなければならない。逆にいえば、構造化はシステムの一部を不十分な形で取り出したものである。

本報告の提案は、わかりやすくいえば、可視化においても、時には、システム化に向けて努力し、ぬけている要素がないか、ぬけている関係がないか、機能や目的はどうなっているかをいうことを考慮するのがよいのでないかということである。システム化に向けて思考をすることを「システム思考」とよぶことにする。

以下、システム概念の整理（定義）を行う。これは上記の内容を少し厳密な言葉で表現したものである。可視化や構造化において、「システム（思考）」という概念を厳密に定義しておくことが絶対不可欠というわけではない。それはおおげさなことかもしれない。簡単にいってしまえば、システム思考とは、対象をきっちりと全体像としてとらえるということにすぎないからである。いいかえれば、システム思考とは、全体をカバーし、しかも必要な事柄を漏れなくカバーするという考えである（G・ナドラー [8] 等）。あるいはシステム思考とは部分でなく全体の構造に着目する考えという見方もある。なお、システムやシステム思考に関しては多くの人々が実にさまざまな定義づけを行っている（渡部 [9]）。

なお、インプット・アウトプット・ペアをベースとする工学的システム概念 [10] はどちらかといえばサブシステム向きシステム概念である。工学的な構築物では暗黙のうちに、いわば当然こととしてシステムの利用の目的や機能やフレームワークが存在するとみてよいであろう。しかし社会科学や人文科学ではこれらは意図しなければ付与されない。

まずシステムにかかわるいくつかの用語を用意する。

①主体-構築と認識

本書では G. M. ワインバーグ [11] にならって、「システムという考え方はものの見方である」という立場をとる。それゆえ、システム概念を定義するには「主体」（個人・組織・社会）が必要である。システムにかかわる主体の行動

は2種類ある。「構築」と「認識（理解）」という行動である。

それゆえ、システム概念は、システムに関する2つの側面に関係する。第1は「システムを構築する」場合であり、第2は対象を「システムとして認識する」場合である。椅子はひとつのシステムであり、我々は設計図を作りそれをもとに椅子を構築する。構築された椅子という人工物を、我々はシステムとして認識することができる。それは構築されたシステムの改善に結びつく。

認識するのは人工物だけでない、川の流れ、森林、ウサギ、地球炭素循環システム、消化器系なども我々はシステムとして認識する。やや異質のものとしては、人工物なのか、非人工物のどちらかはっきりしないが、数学体系を構成する個々の分野もシステムとみなしてよいであろう。これを包括的にシステムとして定義するのは容易に想像できるように非常にむずかしい作業がある。

②要素

要素は、システムを構成する原子である。時計は、歯車群、動力源、表示装置群、ケースなどからできている。それらを、システム-サブシステム-要素としてとらえれば、時計は階層構造をしたシステムである。厳密に言えばここでは「要素」は無定義語として使用している。要素の集まりを「要素リスト」あるいは「要素集合」とよぶ。「集合」という数学用語より「リスト」を使用する方がわかりやすいので主にこちらを使う。

③関係

同様に正確に言えば「関係」も無定義語である。循環論法的には要素と要素を関係づけるものが関係であって、関係の全体は、関係のみのリスト（集合）でなく、「要素-関係-要素」の集合（これを「関係リスト」とよぶ）で表現される。関係リストは、基本的には最小単位の部分構造の集合で十分だが、実際にシステムを扱う上では、サブシステム-関係-サブシステムのリストも含めておいた方がわかりやすい。要素リストと関係リストを合わせて「構造リスト」とよぶ。時計の構造リストには、歯車の構造、配置、サブシステム動力源の構造、箱の構造、針や文字盤の構造、…が含まれる。構造リストには矛盾があってはならない。

④目的

システムの目的は、主体（個人・組織・社会・その他）が環境のなかで行動・活動していく上で必要なこと、あるいは価値あるものとして認めたものを、簡潔明瞭に記述した命題である。目的の集合を「目的リスト」とよぶ。目的は存在しない場合もある。

⑤機能

機能は、システムの構造自体が持つ特性や特徴で、目的の下位に位置づけられる機能と目的の下位に位置づけられない機能がある。前者は主体あるいは主体の価値判断と関係しているが、後者はシステム自体の客観的特性といえる。これらの機能の一部は、システムの基本条件とよべるものが含まれている。その一つはシステムの「自己保存性あるいは自己安定性」である。太陽系や生物の一つの種は徐々に変化はおこしているが、短期的に自己を保存している。生物は遺伝子によって、太陽系は重力によって自己を保存している。本報告のシステム概念の定義ではこの自己安定性（自己保存性）をシステムの条件の一つとしている。これは対象が一つの個体として認識できるということと関係している。その結果、急速に変化する非周期型流動現象はそれが理論的にとらえられない限りシステム概念から除かれることになる（不規則な爆発現象、崩壊中のビル）。システムの動的な特性は扱いにくい面がある。

機能の集合を「機能リスト」（あるいは機能集合）とよぶことにする。時計でいえば、機能リストには、たとえば、秒・分・時の刻み方、時計の精度、時を知らせる音の出し方、時計に関するデザイン要素、動力源の方法、…などが含まれる。

⑥構造

構築と認識に分けて説明する。

（システム構築）

システムを構築する際には、システムの構造はその目的や機能を実現するように構成されなければならない。実現するには、理論（自然の法則や論理）あるいは理念などに矛盾しないことおよび必要な部品がそろっていることが不可欠

である。たとえば、通常は、正常に立たない1本足の椅子はあり得ないし、重要な柱が欠けた住宅もあり得ない。柱と柱が物理学に矛盾する形で空間で交差することもあり得ない。いわば構造は、自由度はあるものの、理論のもとで機能を実現するように正しく構成されねばならない。いいかえれば正しい設計がなされねばならない。これを「設計の完備性」とよぶことにする。

実際に設計の完備性が保証されるには、「機能→設計構造→構築（藤本 [12] による設計情報の転写）→実構造→実機能→機能→構造…」というフィードバックプロセスによるチェックが必要になる。この過程で事実上、システムの認識（理解）のプロセスが人工物にも入り込む。

構築は、藤本氏流に設計情報の転写と見たとき、設計図の内容が対象物構築材料に正しく転写されなければ設計図は架空のものとなり意味を失う。転写が正しく行われることは当然の条件である。これを「転写の完備性」とよぶことにする。転写の完備性と設計の完備性を合わせて構築の完備性とよぶ。

（システム認識）

自然物としてすでに存在するものは、自然の摂理のもとに存在しているので、構築における設計の完備性に相当するものは備わっているものとみなすことができる。しかしそれらの情報が体系的に十分確保できるとは限らない。システムとして認識できるかどうかの必要条件として、対象から得られた情報がゆがみなく真実かどうかという問題がある。これを「観測の完備性」とよぶ。構築の転写の完備性に対応するものが、認識における観測の完備性である。

しかしこれだけでは十分でなく、観測で得られた情報が、対象をシステムとして認識するのに適切で十分な組み合わせとなっているかどうかが問題になる。つまり実体としての対象は自然の摂理によってシステムではあっても、それを何からのシステムとして、主体が持つ知識や経験に照らし合わせつつ、体系的知識として構成することができるための必要な知識情報がそろっているかどうかである。これを「構成の完備性」とよぶ。これは構築における設計の完備性に対応するものである。観測の完備性と構成の完備性を合わせて「認識の完備性」とよぶことにする。なお認識の対象は自然物だけでなく、第三者が構築

した人工物の観測も含まれる。

認識の完備性は、対象のすべての情報を観測しなければならないという意味ではなく、認識の意図に照らし合わせつつ、経験や理論に基づいて体系づけられる形で必要・十分な情報を得たかどうかということである。人の顔に関する情報を、簡素化された顔の輪郭、◎の目、△の鼻、-の口で表現したとしてもそれは完備性が満たされないということではなく、顔の描き方の問題にすぎない。

しかし、人体の消化器系の一部の状態しか得られなければ、消化器系の構造を正確に捉えたとはいえない。時計の一部の構造をとらえただけでは、時を告げる時計をシステムとして捉えたとはいえない。対象からの情報が十分かどうかは、基本的に理論と機能との関係を見いだせばよいであろう。得られた構造情報が一定の理論と一定の機能に正しく対応しているかどうかという問題である。神でなければ現実的には自然物の構築はあり得ないものの、認識プロセスでも、「認識構造→構築（架空）→実構造→実機能→機能→構造…」という架空のプロセスを考えればわかりやすい。

⑦外部環境・制約条件

システムには外部環境がありさまざま制約条件が課せられている。システムの構造以外の要素・関係を「外部環境（環境）」とよぶ。要素や関係には動的な要素ある。それらは変数として表現できる。それらを制約する外部環境を「制約条件」とよぶ。

⑧その他

システムを認識あるいは構築するには一定の知識の体系、つまり理論が必要になる。これもシステムに不可欠な要素である。理論は、経験や知識の集大成である。また理論の一部は方法に結びつく。

[目的リスト]、機能リスト、構造リスト（要素リスト、関係リスト）、理論・方法の全体をシステムの概念的フレームワーク（あるいは単にフレームワーク）とよぶ。なお、[]は「省略可」を意味する。

構築の完備性あるいは認識の完備性には、[目的リスト]、機能リスト、構造

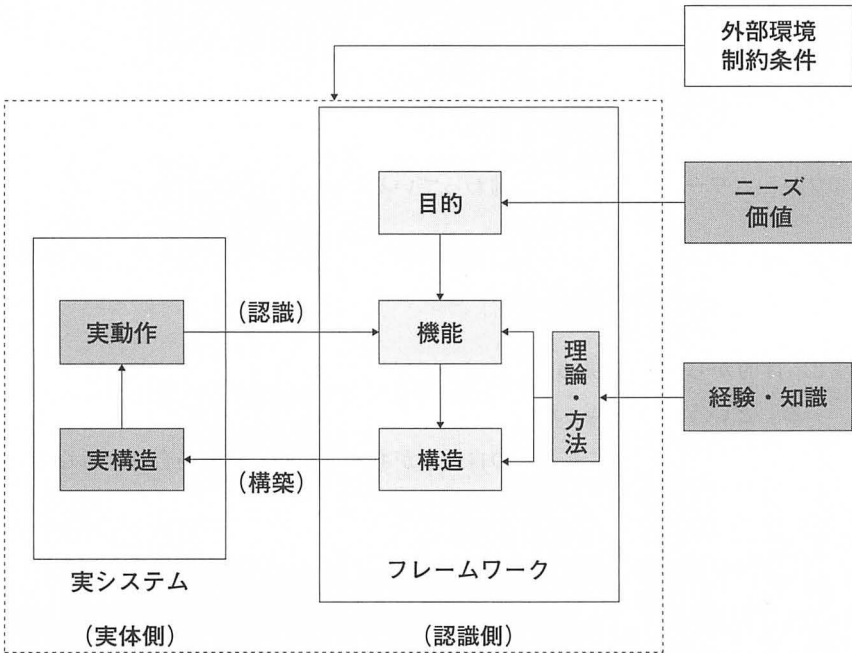
リスト（要素リスト，関係リスト），理論が関係しその条件を与える。構築の完備性と認識の完備性を合わせて「概念的フレームワーク（以下，フレームワーク）の完備性」よぶ。

<システムの定義>

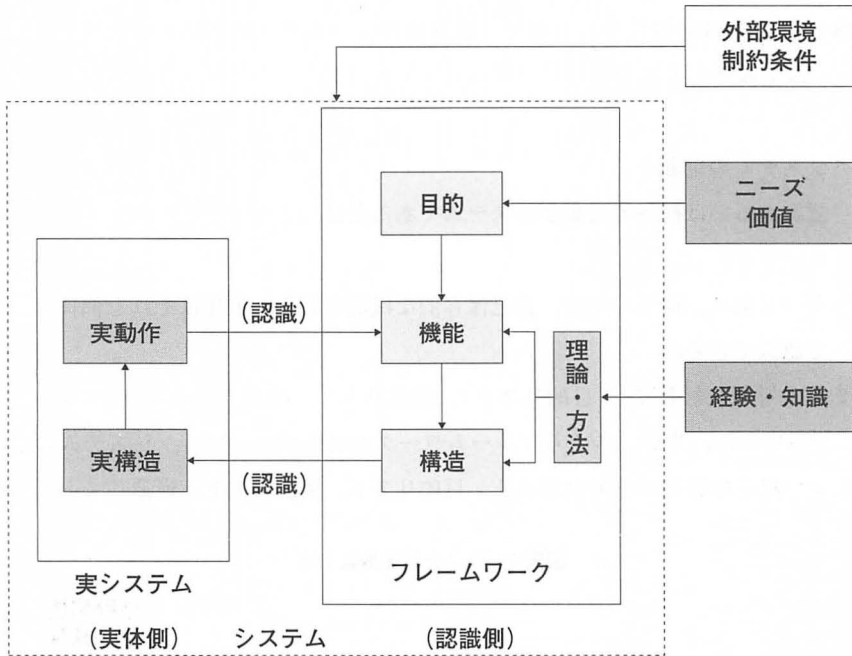
認識あるいは構築の対象がシステムであるとはつぎのことをいう。

- ①その対象は，環境の中で，自己保存的な機能を有し，主体はそれを個体として認識できる。
- ②その対象に対して，[目的リスト]，機能リスト，構造リスト（要素リストと関係リスト），理論，つまりフレームワークが対応づけられる。システムの構築の際には目的は不可欠である。目的リスト，機能リスト，構造リスト，要

図表1 システムを構築する



図表2 システムを認識する



素リスト，関係リストを単に，目的，機能，構造，要素，関係などによぶ。

③フレームワークには完備性が備わっている。

注1) 概念的フレームワークの完備性の条件の一部が満たされない場合を構造体とよぶ。

注2) 目的から機能を決めるプロセスには一定の自由度がある。「時を告げる」という目的を持った時計の機能には選択の余地が多々ある。機能から構造を決める場合にも一定の自由度がある。しかしその場合は，単なる選択というだけの問題でなく，技術やアーキテクチャの問題が絡む。もちろん，構造的矛盾は許されない。かみ合わない歯車や回転し得ない歯車は時計の部品として許されない。このような不足や矛盾がないことやさらに理論によって支持されていることもフレームワークの完備性の条件といえよ

う。

3. 可視化のための汎用ルール例

なんらかの対象や問題などを構造化し可視化した図を構造図とよぶ。構造図の役割は、第1には、考えている対象・問題・テーマなど（以下、対象）の重要なポイントを直観的にアピールすることである。対象の中でどのような要素や関係が重要なのか、対象は基本的にどのような構造をしているかをわかりやすく表現することでこのような目的に利用できる。これがあらゆる分野で最も広く利用されている用途である。多くの場合、構造図のルールは連関図([2], [3])のようにシンプルで十分である。とはいえルールが明確でないと混乱が生ずる。

第2には、対象の複雑な構造そのものを図として可視化することである。設計図、回路図、UMLなど、専門分野で使用されている構造図はこの役目をもっている。後者は対象の基本構造をすべての確に表現しシステム構築の基礎となる構造図である。工学各分野ではこのような目的の構造図が伝統的に広く用いられてきた。

可視化の対象が複雑な社会的問題などであれば、どのような構造図によっても、どのように工夫しても、対象の構造全体を表現することはできない。このような場合に、実際に構造図を作成してみるとわかるが、構造図の表現能力は万能ではないというより、図を描くこと自体が大変難しい。無限の曖昧さと複雑さがある。どのようなルールを作ってもそれで万能ということはない。何でもかんでも構造図によって統一的に可視化できるというようなことでもない。社会問題などでは対象そのものが複雑・多様であり、明確な構造を持っていないからである。

詩や小説を構造図で表現することも、容易でないというよりどう考えても不可能に近い（そのような試みをする人も普通はいない）。言葉の中に複雑な意味が込められているし、要素間の構造も複雑・あいまいである。

一方、工学的なシステムの場合は明確性があり、またそれが求められるので

構造図が安定しているといえよう。電子回路、ネットワーク、住宅など、要素間の関係が物理的に決まっているものは比較的やさしい。とはいえ、CPUの設計図などは立体交差をさけるために、図を描くにはコンピュータの助けが必要なほど難しい。

通常、我々は言葉によって世界を理解・把握しようとしているが、それは長い間の歴史と工夫によって作られてきたものである。言葉のひとつの重要な特徴はその記号（概念）と関係表現の柔軟さにある。このような言葉と比べると、構造図あるいは可視化の役目は補助的なものであり、上記に述べたように重要な部分やわかりにくい部分をうまく表現し可視化することが目的であろう。

多くの人が経験しているように、第三者の作った構造図はときどきよく理解できないことが多い。少なくともその図をよく見てよほど考えないとその意味が十分に分からないことがある。その理由として、作成者が、描画のルールを明示していないことも挙げられるが、もう一つの理由は作成者自身があいまいなルールであいまいな方法で可視化している場合もある。それゆえ、作成者の身になってしっかりその意味を考えないと図が伝えようとしているものが分からない場合もある。

とはいえ構造図を作成する努力をすれば、対象の構造の一部が見えてくることが多い。構造図作成は他人に見せるためであることが多いが、実は自分自身が問題や対象の構造を理解するためでもある。構造図を描くには問題・対象に関する知識を整理しなければならないからである。構造図や可視化は自分のためでもある。可視化には情報の整理と伝達の役目があり、前者は自分のためでもある。

構造図は構築における設計図、認識における知識の構成図と考えれば、それをよりきちんと描くには、フレームワークの完備性が究極の目標となろう。もちろんそれを完全に達成すること、認識の完備性を達成することは不可能に近いがそれに向けて努力することには上記のような意味がある。

下記に構造図作成のルールの例をあげるが、これは構造図のルールを再検討

するには少し参考になるかもしれない。以下に示すルールを便宜上、「構造図基本ルール」あるいは「ルール」とよんでおこう。このルールだけを用いて構造図を描くこともできるしこのルールを詳細化することもできる。

<構造図基本ルール>

構造図は、要素間に関係をもつ構造体あるいはシステムを表現するための図的方法である。構造図を描くルールを考える上で重要になるのはつぎのような点である。

- ①要素の種類は多数あるが、それを何種類の図形記号で表現するか。あまり図形記号が多いと扱いづらい。図形記号を少数にして言葉で補う方が使いやすいこともある。
- ②関係にも多数の種類があるがそれをどのように表現するか。関係には、論理的関係、時間的關係など一般性のある関係がある一方で、特定の要素にかかわる複雑な内容の関係がある。表現上、関係を「要素」として表現することも可能な場合もある。
- ③対象となる構造体がシステム性を持つ場合それをどのように表現するか。システムを特徴づけるのは主に構造（要素-関係）であるが、そのほかに、目的・機能・理論・方法をどのように表現するか。

ここでいうシステム性とは対象自体が実態としてシステムであるかどうかでなく、それをシステムとして把握できるかである。つまり当面のテーマや視点から見て謎の部分があまりなければシステムに近いものとしてみなすことが可能になる。

(1) 要素の表現の種類について

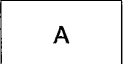

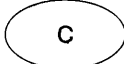
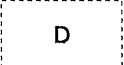
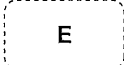
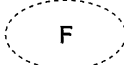







構造図作成のためにはまず要素の図形表現を定める必要がある。これはやってみるとけっこう難しい。シンプルにして汎用性のあるという意味で「よい」ルールを作るのは難しい。

第1はどのような軸によって要素を分類するか、第2はどの程度シンプルな分類にするかである。複雑な図形記号を用意しても使いにくく、図形記号がどんどん増していけば混乱することになる。工学分野の構造図のルールや描画ソフトにはそのような複雑な要素記号やルールが見受けられる。ただし工学分野では構造図の複雑性にも一定の必然性と必要性がある。

ここでは、要素は、「図表3 構造図のための要素の図形表現」のように基本的には2つの軸で分類することとした。

第1の軸は要素の「対象の種類」である。①対象が存在し、実体そのものなのか（たとえば、天体、住宅などのように実体として、物的に存在するもの）、②実体

図表3 構造図のための要素の分類と図的表現

		実体との対応あり		実体との対応不十分・対応なし				
		実体	モデル					
システムとしての知識構造	十分なシステム性	 例 実体としての富士山、天体、河川、住宅、地球の気候システム、企業の組織・情報システム、正常の動作する機械とその部分	 例 富士山の写真、物理学、制度、設計図、ソフトウェア、計量経済モデル、河川モデル	 例 整数論、精密な小説、架空の住宅の設計図				
	不十分なシステム性	 例 部分的に壊れた住宅・機械、機能しない住宅・機械	 例 富士山の絵、システムとはいえない住宅の設計図、多くの社会科学・人文学の理論と分析	 例 哲学、小説、短歌・俳句、工学的に矛盾ある架空の住宅の設計図				
システムでない要素あるいは捕捉説明要素		 非システム要素	 小要素	 状態	 関係の合流点	 行為	 機能	 目的

- 注1) 要素やサブシステムXがある目的や機能Yを持っているときは、Xを表す図形から点線や実線を引きYを関係づける。
- 注2) 省略しているが、一番下の欄の「システムでない要素・補足説明要素」は点線で描くこともありうる。たとえば、目的や機能がはっきりしない場合である。
- 注3) 十分なシステム性とは本文中に定義したフレームワークの完備性を意味する。
- 注4) 機能・目的などの特別な要素は四角・楕円・円以外の図形記号であらわすのがわかりやすい。

が存在するがそれを記述したモデル（認識モデル：たとえば、住宅の設計図、計量経済モデルなど）なのか、さらに③対象が存在しないのか（たとえば、架空の生物）という形で3つに分類する。「ハード型か、ソフト型」あるいは「実体型か認識型か」というような軸分類もありうる。

第2の軸は、「各要素にシステム性あるか—システム性がないか」によって分類する。これは、対象に関する知識によって分類する。まず、①対象がシステムであり十分な知識がある場合、②システムであるが不十分な知識しかない場合によって分類する。知識は完備性の問題である。③その他として、システムでない要素や補足情報を表すために要素的表現をする。たとえば、属性、行為、目的、補助的要素などを表現するために要素記号を使用する。

たとえば、構造図の要素が冥王星であれば、それ自体はシステムであることは間違いないが、それに対する十分なシステム性がある知識がないでDに分類される。Eの例としては、未完成の住宅設計図、地球環境モデルなどが挙げられる。長期的な地球の気温や環境を予測するという目的・機能を持つモデルはまだ発展途上にある。完備性という言葉を使用すれば、個々のモデル自体は完備性を持っているといえても、地球環境を表現するという全体のフレームワークの完備性は不十分と思われる。

構造図を描く上で、要素がシステムだけでよいかということそうはいかないようである。これが③その他がある理由である。システム以外の対象も、要素として用意しておく構造図がより使いやすくなる。③の例としては、非システム要素（たとえば壊れた時計の歯車）、小要素（あまり意味のない路傍の小石）、数学の変数、2つの変数AとBの合流点、サブシステムや要素の目的や機能を、便宜上一つの要素として表現する場合、行為を表現する場合などがある。

後に述べるように、行為は「関係」として記述する方が自然であるが、構造図をシンプルにする上では、行為を要素として取り上げた方が、一般的関係の種類が少なくなり、便利である。たとえば、「山田君は佐藤君を蹴った」という事象は「山田君→蹴った→佐藤君」と表現できる。「→蹴った→」が要素である山田君と佐藤君をつなぐ関係であるが、関係の種類をシンプル化するため

に、「蹴った」を要素化し、「→」を作用として表現する方法をとることもできる（後に再度説明，図表4参照）。

図形は四角，角の丸い四角，楕円，丸などを用意したが，実体は四角形とした。なお，図表3の一番下の欄にある小円は，すべて実線で表現しているが，あいまいなものは点線の円で表現するのがよいであろう。

要素をさらに細かく分け情報を増やすためには，図形内あるいは図形外に言葉を書くか，カラーによる図形による区別を用いてもよい。ただし，カラー図形はPC画面上やカラー印刷ではメリットがあるが，作成した図が白黒印刷となる可能性がある場合はあまり詳細な塗りつぶし分類は避ける必要がある。

また図表中にもあるように点線は，それに関する知識・情報のシステム性が高いほど実線に，システム性が低いほど，細かい点線を使用することとするが，システム性の判別は難しいので無理に細かく分けないことにする。システム性の判断は，基本的に構造図作成者が行うほかない。

構造図では要素の重要度を評価し表示することも考えられる。構造図を一つのシステムとみなし，その作成の目的に従って重要度を数値化することも可能な場合もありうる。最も簡単な方法は複数の専門家による間主観的判断により各要素の重要度を直接的に評価する方法である。また全体をネットワークとみなして，PageRank法と類似の方法を利用して全要素の重要度を計算することもできる（これらは今後の報告[13]参照）。

一方，図的表現に関しては，重要度の詳しい表示は容易でないばかりか混乱を招くので，線の太さにより2-3段階程度にラフに表現するのが望ましいであろう。たとえば，「重要」=太線，「標準」=実線の2種類で表す程度でよいであろう。点線は，仮想（推定，想像，補足など），知識不足・システム性不足などを表しているが，「重要性小」の意味で使えなくもない。また太線の点線の図形もあり得る。

(2) 関係の一般表現

ここでは，まず一般性のある関係の表現法を説明する。一般性ある関係と

は、因果関係、相互作用、推論、対立・反論、上位下位関係、空間的關係、時間的順序、行為、属性などである [7]。簡単に表現できる行為や属性の内容は、必要があれば、それを、矢線の近くに言葉で付記することもできる。

要素間の関係は矢線（有向線）や矢印のない線（無向線）で表現する。図を描くスペースの関係から線の長さは特に意味を持たないものとする。つまり構造図で近いところにある要素群はその関係が近いとすることは望ましいが（KJ法や連関図はそのような表現法をとることがある）、それは望ましいが貫徹することは難しい。定型的な関係の意味については必要に応じて矢線の近傍に書くことを原則とする。基本的に関係の「重要度」は、要素の重要度のように構造図全体から見た重要度はなく、要素間のローカルな性質であるので、重要度とはよばずに、「関係強度」とよんでおく。関係強度は構造図をネットワークとして評価し要素の重要度を計算する際に使用する。

このようなローカルな意味しか持たないウエイトは図的には区別する必要がないように思われるので、関係の図的表現としては太線を使用せず原則的には標準の実線だけでよいであろう。ただし、仮想・推定・補足など、あるいは関係性不明確の場合は点線で表現する場合はあり得る。

関係は行為や属性などに限らず、動詞句の意味も持っている。関係の種類としては下記のようなものが考えられる。その際に矢線の方向についても決めておく必要がある。ここでは原則として、①原因から結果へ、②ポテンシャルの高い方から低い方へという、③上位から下位へ、④属性所有者から属性へ、⑤主体から対象・行為へという5つ原則で矢線を引くことにする [7]。この5つには一定の共通性が認められよう。たとえば、水の流れは高い方から低い方に流れるがそれ時間の流れと対応しているので、多くの場合①と②は矛盾しないと考えてよい。

①流れや作用（因果関係）

流れにはものやエネルギーの流れだけでなく情報の流れも含まれる。因果的関係により $A \rightarrow B$ のように表現する。要素 A のアウトプットが要素 B に

投入されていることとみなす。

②相互作用

二つの要素間の相互作用は双方向の実線矢印によって表現するのが自然である。これは流れや作用が双方向に生じた場合である。

③推論（命題間の含意）

推論を実線の矢印で表す。A, B を命題とすると $A \rightarrow B$ は「命題 A が成立するならば命題 B が成立する」ことを表す。

④上位下位関係

上位から下位へ、一般から具体への関係は実線矢印で表現することにする。この表現は UML と逆になっている。このルールでは「ポテンシャルの高い方から低い方へ」という原理を使用しているためであるが、便宜的取り決めにすぎない。

⑤空間的關係

この場合は方向性がない方が多いかもしれない。都市間の旅行の場合は矢印を使用し都市間にその距離を書けばよい。単なる都市間の距離の表現の場合は当然「無向線」を使用すればよい。

⑥時間的順序

事象 A が生じた後に事象 B が生ずることを $A \rightarrow B$ と表現する。因果関係は前提にしない場合も含む。動的システムの表現では、時間遅れ量 d を付記したり要素として表現する。たとえば、事象 A から事象 B の間に遅れ d があるときは、関係線に d を記入したりその中間に d を記入した要素を配置する。

⑦主体から対象への行為

これは①の一形態と考えられなくもない。主体 A から客体 B への行為を矢線で $A \rightarrow B$ と表現する。行為の中身がシンプルで構造図の中で共通性がある場合はその内容は関係を表す矢線の近傍に書く。行為の中には主張や伝達も含まれる。

⑧主張・対立・反論（双方向矢印）

主体 A が客体 B に対して何かを主張することを $A \rightarrow B$ と描くことにする。

主張の内容を詳しく明示する場合は要素として表現する。要素として表現された場合はインプット側は主体，アウトプット側は客体となる。

対立の場合は，双方向の主張と考えれば一方向の矢線 2 本あるいは双方向の点線矢線 1 本によって表現するのは自然である。一方，反論も一つの主張として表現できる。

⑨属性所有

ある要素の属性はその要素から属性への矢印で，その所有を表現する。

⑩グループ（サブシステム）間の関係

サブシステム間の関係は，通常の矢印の他に 2 重線の矢印⇒を使うと要素と要素の区別ができるのでわかりやすいが→でもかまわない。

⑪正負の影響

ある要素 A からの作用が他の要素 B に正の影響を与えるときは，矢印付近に+の記号を，負の影響を与えるときは，-の記号を書く。

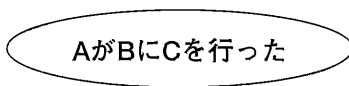
(3) 関係の要素表現

主体 A が客体 B に対して行為 C を行うとき，それをどのように表現するかということがある。行為や属性を「要素」として表現するか，「関係」として表現するかという選択がある。構造図では，どちらかといえば複雑な構造の関係を属性や行為をまとめて要素として表現した方が描き易い。関係を表す矢線に対して詳細な説明を付けにくいからである。

行為を例に説明する。図表 4 行為の表現のように，行為の表現方法を変えれば構造図はいろいろ変化する。「主体 A が客体 B に行為 C を行った」という命題を表現する場合に一番簡単な方法は，命題自身を「表現 1」のように一つの要素と表現する方法である。「表現 2」は客体と行為を一つの要素として表現する場合である。「表現 3」は主体と客体を要素として明示し，行為 C を関係として表現する。C は関係の補助説明として付記する形にする。これが一番自然な表現である。「表現 4」は客体 B と行為 C を主体 A に独立に関係づける方法である。この場合は，関係づける要素や属性が他にも複数あれば図は意味

図表4 行為の表現

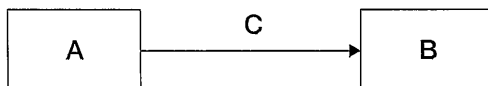
表現1



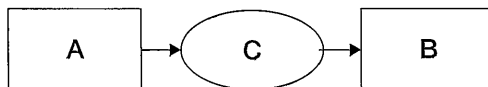
表現2



表現3



表現4



不明になることもある。同じような事情は行為だけでなく、状態、属性、伝達などでも発生する。

コンピュータのプログラムでは、菱形(◇)で表現される分岐が非常に重要な意味を持っている。より一般的にいえば、これは「判断や意思決定という行為」ということになる。本研究が対象にしている環境問題や社会的問題では、企業や行政におけるひとつの意思決定がその後多大な影響をおよぼすので、意思決定を明示することは必要である。しかし選択や意思決定は、広くいえば行為の一つの例であり、重要な意思決定は、太線の「重要な行為」として要素として表し、特別な記号を使用しない方が構造図のルールを複雑化しない。

(4) その他

①目的・機能の表示

一般に多くの構造図には要素と関係のみが表現されていることが多い。しかし構造図の要素あるいはサブシステムに、それにかかわる目的・機能・理論・方法を表現しておけば、図としてより価値の高いものになる可能性がある。

構造図全体の目的や機能を明示する必要があるときは、たとえば、構造図の左上に、構造図の目的を書く箱を設ける。目的は、目的：～として、簡潔な文

章で書く。機能を書く必要があればその下に番号を付けてリストする。サブシステムに機能を属性として表示することも可能である。理論・方法は、その名称や内容をひとつの説明文として書き（要素として表現）、それに依存する要素やサブシステムに説明文として付加する。

②特殊図形記号

特殊図形を利用しなくとも構造図を描くことはできるが、設計図や回路図のように、要素の種類毎に異なった専門的図形記号を使いたい場合もある。多くのフローチャート作成ソフトでは多様な部品がたくさん用意されている。このような特殊図形記号を用いる場合には、図に注をつけ図形の定義や意味を明示することが必要である。また構造図のルールに違反しないように特殊記号を使用することが望ましい。

住宅の設計図のように要素と要素の関係を実物との相似的位置関係で表現するならば、それらの相互の位置そのものが関係表現であり、関係記号が不要な場合もある。

③要素や関係に関する補足説明

要素や関係についての説明文字量が多い場合は、要素や関係の外に補足を書けるようにしておくとう便利である。このような補足は、枠線のない箱等で表しその中に文を書く。それを対象とする要素や関係と点線で結ぶ。

④グループ化（サブシステム・サブ構造体）

何らかの共通属性を持つ要素群（含関係）を同一のグループとして表現するにはそれら全体を実線あるいは点線（あるいは箱・楕円・円）で囲む。これらサブシステム・サブ構造体となる。必要があれば線にグループ名や属性を付与する。グループ間の関係については2重線の矢印（⇒）を使用するとわかりやすくなる。

(5) 実際の作業

構造図を描く作業はつぎのようになる。

① PCで構造図の本図を描く前に、資料・知識・経験・思考をベースにおおよ

その要素の内容と関係を、直観的に紙に描いていく。なぜ紙を使用するかというと、資料やメモを見たり他の情報を引用する際には扱いのしやすい紙が不可欠である。はじめから PC を使うこともありうるし、カードを用いる場合もあるが普通の紙を使うと便利なこともある。

- ②要素を増やしていくと、紙の上の作業はやがて混乱に陥るので、全体の構図やブロック化、要素の配置などの全体の方針を練り直す。それらを整理しながら、PC 上に配置していく。その際に要素のブロック（サブシステム）に分けて配置をすると、構造図の機能が明確になる。
- ③PC 上で要素内の文章、要素の配置、関係を見直し、また要素や関係の表現法を考慮する。要素には通し番号などをつけ必要に応じて、別途、詳細な注をつけると内容がわかりやすくなり専門性が高くなる。満足いくまで構造図を改良する。ただし、構造図の精密化には限度がある。ほぼ十分なものができあがればそれでよし、別途文章で補うのがよいであろう。

4. あとがき

容易に予想されることだが、この種の構造図のルールは不十分な点が多々含まれているものと予想されるが、それらの点は逐次改良していきたい。ルールの前にシステム概念を詳しく説明したが、実際はそれを構造図に反映させるのは容易でない。精密な構造図の作成には相当な努力が必要である。

本報告は、平成 21 年度専修大学中期研究員にかかわる研究テーマ「エネルギー・環境戦略とその情報構造」の一環として行ったものである。この研究では、後日、いくつかの環境・エネルギー問題に関して構造図を報告することになっている。本報告では当初、「地球環境問題に関する意見の対立構造」という構造図を掲載する予定であったが、本文の文章がやや長くなり制限字数をオーバーする可能性があったので省略した。後続の報告書を参照頂ければ幸いである。

参考文献

- [1] 川喜田二郎：KJ法，中央公論社，1986.
- [2] 細谷克也：QC7つ道具，日科技連，1982.
- [3] 新QC7つ道具研究会編：新QC7つ道具の企業への展開，日科技連，1981.
- [4] 児玉公信：UMLモデリングの本質，日経BP社，2004.
- [5] 巻山展輝：プロジェクトマネージャのためのUML徹底活用術，翔泳社，2004.
- [6] ハンス＝エリク・エリクソン／マグヌス・ベンカー（鞍田友美／本位田真一監訳）：UMLによるビジネスモデリング，ソフトバンク，2002.
- [7] 齋藤雄志：知識の構造化と知の戦略，専修大学出版会，2005.
- [8] G・ナドラー／日比野省三（佐々木元訳）：ブレイクスルー思考，ダイヤモンド社，1991.
- [9] 渡部栄：情報管理概論－理論と応用，白桃書房，1996.
- [10] L. A. Zadeh/C. A. Desoer：Linear System Theory, McGraw-Hill, 1963.
- [11] G. M. ワインバーグ（大野尙郎訳）：ワインバーグのシステム思考法，共立出版，1994.
- [12] 藤本隆宏・東京大学21世紀COEものづくり経営研究センター：ものづくり経営学－製造業を超える生産思想，光文社新書，2007.
- [13] 齋藤雄志：環境問題の情報構造（仮題・予定）.