

シンセシスの推論フレームワークに関する研究(第1報)

- シンセシスのモデル化 -

Research on Reasoning Framework for Synthesis (The First Report)

- The Basic Requirements for Modeling of Synthesis -

武田 英明[†]

Hideaki Takeda
takeda@nii.ac.jp

吉岡 真治[†]

Masaharu Yoshioka
yoshioka@nii.ac.jp

富山 哲男[‡]

Tetsuo Tomiyama
tomiyama@race.u-tokyo.ac.jp

[†] 国立情報学研究所

National Institute of Informatics

[‡] 東京大学人工物工学研究センター

RACE, The University of Tokyo

Abstract: In this paper, we describe basic requirements for modeling of synthesis and propose a framework for reasoning systems for synthesis. We first discuss the meaning of *synthesis* and separate synthesis in logic and in scientific methodology. We define synthesis-oriented and analysis-oriented thought process models in a logical framework. We secondly compile four requirements to realize the synthesis-oriented thought process model as a reasoning system; (i) both abduction and deduction should be included, (ii) multiple aspects should be provided, (iii) both logical and model-based reasoning should be possible, and (iv) models should be tightly associated with real world information. We finally propose a reasoning framework for synthesis to satisfy these requirements.

1. はじめに

本稿では日本学術振興会未来開拓学術推進事業の「シンセシスの科学」分野の一つのプロジェクトである「シンセシスのモデル論」プロジェクト (JSPS-RFTF96P00701) [1] における推論フレームワークについて述べる。本プロジェクトは1996年度より5年間計画で実施されているものである。このプロジェクトは設計に代表されるシンセシスを解明し理解し、それを説明するモデルの構築を目指すものである。

本稿では、まずシンセシスとアナリシスをその対置において理解することから始め、その実現に必要な推論はどのようなものであるかについて議論する。

2. シンセシスとアナリシス

シンセシスとして代表的なものとしては科学的発見と設計がある。科学的発見については科学哲学の方で比較的良好に研究されている。本プロジェクトではむしろ後者、設計といったより日常的なシンセシスを対象にしている。

この2つを比べると同じシンセシスといってもかなりシンセシスの捕らえ方が違っている。たとえば、いくつかの直観的な違いをあげることができる。

- 科学的発見のプロセスではアナリシスは数多くなされるが、シンセシスはそれ多くなされるわけではない。ところが設計ではアナリシスも多いがまたシンセシスも多い。
- 科学的発見では仮説の少なさは重要な視点であるが、設計では多いことが望ましいことが多い。

まずこのようなシンセシスの特性の違いの問題から考えることで、本プロジェクトの対象とするシンセシスがどのようなものであるかを明らかにする。

2.1 シンセシスとアナリシスの指すもの

シンセシスとアナリシスという用語には二つの側面がある。ひとつは論理学に結びついた面であり、もう一つは我々の思考のスタイルの分類という面である。前者は後者のために作られているわけであるが、必ずしも一致しているわけではない。

シンセシスとアナリシスは多くの場合、対比的に用いられてきた。アナリシスはものごとや事柄を調べて、それがもつ属性や特徴をみいだす作業と考えられる。シンセシスはその逆と考えられているので、必要な属性や特徴からそれをもつものや事柄、法則などをみいだすこととなる。ただし、シンセシスと呼ぶときは、多くの場合「みいだす」ことが容易でないことを要求している。この説明は極めてよく論理における演繹とアブダクション (仮説生成) に対応する。すなわち、アナリシスは演繹であり、シンセシスはアブダクションであるという対応である。

しかし、このようなアナリシスとシンセシスの説明は必ずしも我々の行うアナリシスやシンセシスという行為あるいは思考法と対応しない。というのは、通常のアナリシスの行為にも論理的な意味でのシンセシスを行う部分があり、またシンセシスの行為にも論理的な意味でのアナリシスを行う部分があるからである。アナリシスを行うというのはすでにどのような属性に着目するのか、どのような法則を使うのかということ仮説として使っているであって、これをせずにアナリシスにはできない。逆にシンセシスをするといういう中には形成する仮説はアナリシス的に確かめられることができるということを含んでいる。

すなわちどちらの行為でもシンセシスとアナリシスが含ま

でいるわけである。そこでここでは、用語を整理して以下のように呼ぶことにする。まず我々の思考のスタイルとしてアナリシス指向の思考とシンセシス指向の思考というように呼ぶことにする。アナリシス指向の思考はアナリシスが重要な役割を果たす思考の方法であり、科学的発見を含む科学的な思考方法に共通する思考方法である。シンセシス指向の思考とは、シンセシスが重要な役割を果たす思考の方法であり、設計や発想などのときの思考方法である。そして論理的な意味でのアナリシスとシンセシスを演繹とアブダクションと呼ぶ。

2.2 論理的枠組みからみたシンセシスとアナリシス

以下、論理的な枠組みで整理することを試みる。

ここではアナリシス指向、シンセシス指向の思考法を含めて、理論に基づく合理的な思考法としてモデル化する。ここで合理性というのは論理的な整合性であると考えられる。このような思考においては事象の根拠を求めたり、根拠に基づく事象を求めたりするということが行われる。このとき理論とは根拠と他の事象を論理的に関係付けるものとなる。まず、すべての概念、事象は何らかの項(term)でかかれるとする。論理的には項に区別はないが、我々の思考のモデルのために以下の区別を考える。まず、この項の中には自身が根拠となり別の項から根拠づけられないもの(定義項、 td)とそれ以外の(説明項、 Te)の区別があると考えられる。また、観察できる項(観察項、 To)と観察できない項の区別を考える。

もっとも単純なモデルは公理(A)とそれと推論規則から導出される定理(Th)からなるものである。

A | Th

この場合、 A を与えて Th を求める行為が演繹であり、 Th の一部を与えて A を求めるのがアブダクションである。これに加えて、 A の中で定義項だけからなる式を分離することができる。

K Fd | Th

この場合の K を知識、 Fd を定義事象と呼ぶことにする。また観察事象 Fo は観察できる項 To から構成され、 Th に含まれる。これはある知識に基づいて事象を理解しようとするときの思考のモデルである。 K は汎用的な知識を示し、 Fd はそれぞれの状況の特徴付ける記述である。すなわち、 K は状況によって変わらない一般性を持つものであるが、 Fd は状況が変わるごとに変わる。具体的には Fd には、原因である現象や“本質的”属性などが含まれる。すなわち個別性をもつものである。当然、観察事象も個別性をもつものである。

このとき、演繹は K と Fd を与えて Th を求めることであるので一通りであるが、アブダクションはいくつかのバリエーションが考えられる。すなわち、

1. Th の一部を与えて、 K と Fd を求める。
2. Th の一部と Fd を与えて、 K を求める。
3. Th の一部と K を与えて、 Fd を求める。

科学的思考プロセスにおいては1ないし2が行われており、設計においては3が行われている。

科学的発見においては、多くの場合観察事象から知識と定義事象を同時に求めているが、通常知識の発見が主な行為であると考えられている。すなわち科学的発見とは個別性をもつ観察事象から一般性をもつ知識を導く行為である。このためには多くの観察事象を集めてくる必要がある。ま

た一般性を求めるのであるから、 K はできるだけ多くの場合に適用できることが望まれる。すなわち、観察事象の数に対して仮説の数は少ない。このため少数の仮説の提案と数多くの演繹が必要であり、これが科学的発見においてはアナリシスが主要な思考である所以である。

これに対して設計は3であるので、個別性から個別性を求める行為である。この場合は、知識はできるだけ多いほうが定義事象をより求めやすくなる。演繹とアブダクションは同程度行われる。上の科学的発見と比較するとシンセシスがより大きな役割をもった行為であるといえる。

以上のことを踏まえて、アナリシス指向の思考法とシンセシス指向の思考法を論理的枠組みで説明する。以下ではアナリシス指向の思考法の例として科学的発見を含む科学的思考プロセスを考え、シンセシス指向の思考法の例として設計を考える。

2.3 アナリシス指向の思考法

まず最初にアナリシス指向の思考法について、論理的な視点からまとめてみると以下ようになる。

(1) 事象の観察

まず説明を求める事象を観察し、記述する。この観察結果を O とする。科学的思考のプロセスでは観察の条件を記録し出来るだけ再現性のある形にする(追試性の確保)。

(2) 観察からの観察事象の抽出

次に観察結果 O から観察事象 Fo を抽出する。この部分は多くの場合(3)の公理系の選択と同時にされる。すなわち公理系の選択が観察からの事実抽出を決めている。

(3) 観察事象から公理系の発見または選択

多数の観察事象を整理することで、事象の背後に潜む法則性を仮説 K という形(例えば実験式)として導出する(この過程はアブダクションである)。この仮説としての公理系が抽象的であればあるほど、一般性、汎用性が高くなり、当然公理の数も少なくなる。この公理系が既知である場合には適用すべき公理系 K を選択することになる

(4) 定義事象の仮定

観察事象を説明する定義事象 Fd を仮定する。科学的プロセスではこの段階はほぼ自明なものとして扱われることが多い。

(5) 公理系から定理群の導出

定義事象 Fd と公理系 K に対して演繹を施し、定理群 Th を導出する。ただし単純に公理系を適用するだけでは(例えば推論に要する時間が無限になるなどして)解を求めることが不可能になる。そこで問題を適切な小問題に分割統治し、その部分解を「合成」することでもとの問題に対する解とすることが多い。すなわち単純な演繹だけではなく、手続的な解法などの推論形式が存在する。

(6) 定理群と観察事象との整合性検証

定理群 Th と最初の観察事象 Fo とを比較し、その間の整合性を検証して定理群が最初の観察事象を説明するかどうかを調べる。これは、 $Th \supseteq Fo$ の検証を行うことに等しい。例えば、 $Th = Fo$ であれば、この K は適切であり、事実を完全に説明し尽くすことになる。また $Th \supset Fo$ の時には $Th - Fo$ の部分は、非観察事象あるいは、未来また過去の未発見の事象を示すはずである。さらに、 $Fo - Th = \emptyset$ の場合には、説明しきれない事象が残るというケースに相当するであろう。

(7) 定理群と公理系との整合性検証

定理群が既知の他の公理系 K' と矛盾するものでないことも検証することで、導出された仮説が「真理」であるかというは不明であるにしても少なくとも他の公理系に対して独立であることを検証する。

2.4 シンセシス指向の思考過程モデル

このアナリシス指向の思考過程モデルに対してシンセシス指向の思考過程モデルを次のように提案する。

(1) 事象の観察

まず説明を求める事象を観察し、記述する。この観察結果を O とする。設計においては要求を記述するというのである。この段階においてはできるだけ詳しく記述することが望まれる。

(2) 観察からの観察事象の抽出

次に観察結果 O から観察事象 F_o を抽出する。設計においては要求の記述から設計に直接関係のあるものを選択、再記述して要求仕様を定めることに対応する。

(3) 適用すべき公理系の選択

シンセシスにおいても、何をどこまで考慮するかがまず問題となる。例えば設計においてなるべく多くの視点を持つということは、考慮すべき公理系 K (の種類あるいは濃度) が多くなることを意味するが、これはアナリシスになるべく少数の公理系、簡潔である公理系を好むことと好対照である。

(4) 観察事象を導出するような定義事象を定理群と公理系から導出

観察事象 F_o と上で選択した公理系 K から、シンセシスの解である説明事象 F_d を導出する。ここで、アナリシスと同様に問題を適切な小問題に分割統治し、なるべく少ない公理系だけを考えることで問題を単純化することも可能である。また、このプロセスはアブダクションだけでなく手続きなどの推論形式で記述できる場合もあるであろう。

(5) 公理系から定理群の導出

定義事象 F_d と公理系 K に対して演繹を施すことで定理群 Th を導出する。これはアナリシスと同様に演繹で解くことも可能であろうし、また問題を小問題に分割することも有効であろう。

(6) 定理群と要求との整合性検証

導出された定理群 Th と最初の観察事象 F_o とを比較し、その間の整合性つまり $Th \supset F_o$ を検証することで、上で導出された定義事象 F_d が最初の要求を満足する解となっているかどうかを評価するプロセスである。

(7) 定理群と公理系との整合性検証

定理群が既知の他の公理系 K' と矛盾するものでないことも検証することであるが、アナリシス指向の場合と違い、 K が大きいため現実的に不可能である。そこで具体的な F_d およびそこから導出される F_o がほかの公理系と矛盾しないかを調べる。このことは設計解がもともとの仕様を満足するかどうかを検証するだけでなく、既知の(つまり要求として明示的に記述されていない)公理系に矛盾しないことを検証する。

2.5 アナリシス指向とシンセシス指向の差異

これらアナリシス指向思考過程モデルとシンセシス指向思考過程モデルとの思考過程モデルの大きな差異は次の通りである。

(1) 解くべき問題の設定がアナリシス指向では事実の観察から始まり given に近いが、シンセシス側では要求の記述であり、そこに自由度がある。

(2) 視点の設定、すなわち公理系を選択する際に、アナリシス指向では出来るだけ少数の公理系で整合的であろうとするが、シンセシス指向では逆にできるだけ多数の公理系を取り入れようとし、またここにシンセシスの自由度と複雑さがある。

(3) シンセシス指向の思考過程にも演繹が展開、検証にその部分が入っており、またアブダクションもアナリシス指向の(3) シンセシスの(3)の両方に入っている。その意味でシンセシスはアナリシスの逆なのではなく相補的である。

(4) アナリシス指向では定理群(観察事象)がいかに適切に求められるかが主な目標であるが、シンセシス指向でいかに適切に公理系(定義事象)を求めら得るかが目標である。

3 シンセシスの推論フレームワークへの要求仕様

以上の考察から、シンセシスをモデル化する際の基本的な条件を議論する。

(1) アブダクションと演繹の双方向性

前章で述べたようにシンセシス指向の思考においても演繹は重要な役割をもっている。シンセシスの推論フレームワークは当然、演繹的推論(アナリシスの推論)を含んでいる必要がある。また、これはアブダクション(シンセシスの推論)と双方向性をもっている必要がある(2.5節(3)に対応)。

(2) 多視点の利用

アナリシス指向とシンセシス指向の大きな違いのひとつは単一の視点に基づくか、複数視点に基づくかの違いである。シンセシス指向の場合は、知識(2章での知識 K)が単純、少数であることは求められていない。むしろ与えられた要求を適切に扱える知識を必要な分利用できることが必要である。すなわち、多視点からの知識を適宜利用できるが求められている。

(3) 論理的推論とモデルベース推論の混在

設計においては人工物をモデルとして記述する多様な方法が提案され、利用されてきた。ここでのモデル化とは特定の視点から人工物およびその環境を記述するものであり、それぞれの視点にあった記述の方法がとられている。これらのモデルを用いてなんらかの操作をするシステムのことをモデルベース推論システムと呼ぶことにする。実際の設計においてこのようなモデルベース推論システムによるところが大きいのは、上で述べたように知識は単純さが第一に求められているのではなく、どれだけ現実の人工物や要求に適合しているかが第一義であるからである。しかしモデルベース推論システムでは、(1)個々の視点以上のことはわからないし、(2)アナリシスの推論、シンセシスの推論の区別も明確でない。実際の設計では上の2点は設計者がモデルベース推論システムを利用するときに設計者自らが補足して行っている。このような部分までモデル化するためには2章で述べてきたような論理的推論を取り入れる必要がある。すなわち、モデルベース推論システムは個々の視点による操作を可能にし、論理的推論は思考の方向付けと視点間関係を可能とする。

(4) 現実の環境への対応

2.5節(1)で述べたように、シンセシス指向においては観察事象(設計の場合の要求仕様)の決定は容易ではない。必要に応じて再度実際の人工物や要求にあたってなにを必要な事象であるかを再決定する必要がある。このため、現実の環境と密に結びついている必要がある。

4. シンセシスの推論フレームワーク

以上の4つの点を踏まえ、次のようなフレームワークを提案する(図1参照)。

この枠組みは次の3つの要素から構成されている。

- 統合複数モデルベース推論システム
- 設計情報メディアベース
- 思考過程モデル

このうち、設計情報メディアベースは多様な設計情報及び設計知識の表現と様々なモデルベース推論システムを利用することによって、要求の記述の自由度を確保するものである(3章(4)への対応)。また思考過程モデルは2章で述べたシンセシス指向の思考過程に関する知識とその利用を表現するものである。以下では統合複数モデルベース推論機構について述べる。

前章で述べたように、シンセシスにおいては論理的な思考と対象に依存した思考が組み合わせられている必要がある。そこでこのフレームワークでは論理推論機構とモデルベース推論機構を両方もつ構成となっている。論理推論機構では具体的な設計対象には依存しない論理的なモデル(Object independent model)と知識が利用され、モデルベース推論システムでは、具体的な設計対象に依存した様々な表現形式によるモデル(Object dependent models)を取り扱う。

● モデルベース推論システム

モデルベース推論システムとはモデルを表現するためのモデリング部分とそのモデルを用いて推論するための知識部分の組み合わせである。ここではモデルの構築、修正、モデルを用いた推論、推論知識の変更など行われる。モデルベース推論システムは複数存在するが、相互の関係は論理推論機構を通じて行われる。

● 論理推論機構

論理推論機構では2章で述べたシンセシス指向の思考過程が論理的に実行される。演繹推論、アブダクション、知識の設定、現象(対象)の設定などが行われる。論理推論機構からはモデルベース推論システムは知識(公理系)を仮想的に表現していると考えられる。すなわちモデルベース推論システムでの知識と推論は論理推論機構における知識と推論であると仮想的にみなされる。これにより、論理推論機構からはモデルベース推論システムで行われた推論も含めて一貫して推論が行われるように扱われる。モデルベース推論システムがひとつの知識(公理系)に対応するので、論理推論機構においてもモデルベース推論システムと同様複数の視点がある。論理推論機構ではそれらの視点での対象記述(オントロジー)を関係付ける知識や推論を提供することにより複数視点の統合を可能にする。

5 まとめ

本稿ではシンセシスをモデル化する上での基本的な要件を考察し、その要件をみたすような推論フレームワークの提案を行った。今後はこれまでの研究で作成したシステム[3][4]の部利用を行いながら全体システムの構成を行う予定である。

参考文献

[1] 富山、「シンセシスのモデル論」プロジェクト報告, 日本学術振興会未来開拓研究推進事業公開シンポジウム講演予稿集, 2000年3月4日
 [2] N.R. Hanson, Patterns of Discovery, Cambridge University Press, 1958 (邦訳: 村上陽一郎訳, 科学的発見のパターン、講談社)
 [3] 吉岡, 富山. 設計支援のための統合モデリング環境の研究 - プラガブル・メタモデル機構の提案 -. 人工知能学会誌 Vol. 13, No. 2, pp. 312-319, 1998.
 [4] 関谷, 吉岡, 富山, オントロジーを用いた統合的設計支援環境の実現, 人工知能学会誌 Vol. 14, No. 6, 1999

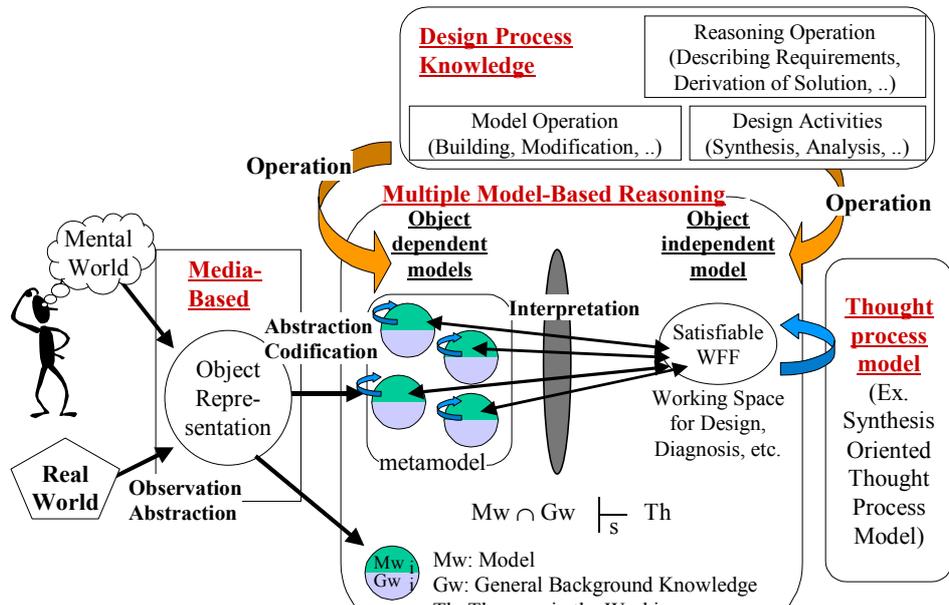


図1: シンセシスの推論フレームワーク