HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	コンピュータと論理学教育
Author(s)	中戸川, 孝治
Citation	高等教育ジャーナル, 2, 107-113
Issue Date	1997
DOI	https://doi.org/10.14943/J.HighEdu.2.107
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/29850
Type	departmental bulletin paper
File Information	2_P107-113.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

コンピュータと論理学教育

中戸川　孝治

北海道大学文学部

Computer and Logic Education

Koji Nakatogawa

Faculty of Leters , Hokkaido University

Abstract—CAI programs for logic education are roughly divided into two classes, according to the two basic methods in logic, namely, semantic and syntactic methods. After examining and evaluating representative CAI software taken form each class, we provide some remarks which will be useful for using these CAI's in actual courses of a relatively large size. Through the considerations in this paper, it is suggested that one of the real values of the CAI for logic education consists in helping the learners of logic to receive careful individual attentions and detailed corrections in constructing deductions by using the expressions of the object language. With the help of logic CAI, learners of logic will find it easier and more comfortable, when compared with the instructions in the conventional logic classes, to acquire the skills to see which way to proceed in constructing a logically correct deduction.

1. はじめに

本稿では, コンピュータによる論理学学習支援ツールのうちで, 特に CAI (Computer Assisted Instruction) とよばれるソフトウェアについて，論理学教育の置かれている現状を踏まえ, 実際に授業に導入するときの注意点も含めて，検討する。論理学 CAI の開発の背景, 意味論・構文論という論理学における２つの方法論の影響に言及したあと, 比較的入手が容易でしかも実行環境が容易に実現できる論理学CAIをいくつか選んで分析・評価をおこなう。大規模な論理学授業で実際に使用した経験からえられた留意事項が最後に指摘される。(注 1)

記号論理学を学び始めるときに遭遇する困難の一端は, 学習初期の段階で理由もわからずに 記号変形の操作を反復練習し，いわば，手でおぼえなければならない所にある。この記号変形操作が世界の創造のされ方とおぼろげながらも構造上の類似を有するかもしれない, とたとえ言われたとしても，両者の仕組みは，常人が信じるにはあまりにもかけ離れている。トンネルの入り口で遭遇する困難を, 長いトンネルをぬけた後に初めて見えてくる展望を想像して克服することは, すくなくとも，通常の学習者には無理な要求といえる。(論理学の学習に入ろうとする者に，理屈で入門の仕方を説いたとしたら, その理屈はどんな論理に基づければよいのであろうか。) したがって, 先を見抜く直観力に自信のない者，あるいは，細部の微妙な変化に全体の大きな変化の兆候を感じ取

れる繊細さを持ち合わせていない者，こういった大多数の常識的な学習者にとって必要とされているのは，手で覚えなければならない記号変形規則の反復練習を少しでも快適にしてくれる支援ツールということになろう。ツールの力に助けられて，より多くの学習者がより一層先まで論理学を習得できるような状況の実現が期待されている。

2. 論理学の授業におけるコンピュータ利用の形態

コンピュータをつかって論理学の授業を行う形態は多様である。単純なところでは，コンピュータを使って作成した文書・画像ファイルをOHP等を経由せず直接巨大スクリーンに提示するといった利用形態がある。ここでは，発表用のソフト（パワーポイント，パースウェイジョン，クラリスインパクト等）の活用が考えられる。ここでは，すでに何らかの形で従来の授業のうちで利用されていた手段がコンピュータ利用で補強され，より効率的になっているにすぎない。他方，CAI（Computer Assisted Instruction），あるいは，CAL（Computer Assisted Learning）といった名称で総称されることのあるソフトウェアは，従来の授業形態とはことなった要素を含んでいる。

CAIを利用した授業では，インストラクターの役割は補助的になり，教える側の主体は，計算機上で実行されているCAIのプログラムになる。予備知識，学年，進度等において，各自異なった条件を背負った学習者は，それぞれの学習者に適した側面を見せている（実行されている）プログラムに働きかけることになる。さまざまな教育上の指示を各学習者にむかって直接だしてくる「教育指導主体」がコンピュータプログラム（の仕様作成者）になっている，といえよう。この意味で，論理学教育でコンピュータの利用を考えるとき，焦点の中心に位置するのは，ソフトウエアを使いながら個々の学生が学習を進めていけるCAIということになる。

2.1 論理学教育における演習の不可欠性

論理学教育が展開されるのは，教育組織体のなかである。この現実からみたとき，CAI導入の意義はどこにあるのか。論理学教育は，本来，微積，線形代数なみの練習問題を学生に課することによりはじめて推論規則の適用等の知識が実質的に身につき，未知の問題に遭遇したときも，自ら推論を行うようになれる。論理学は文系にも履修する学生がいるから，その練習は同様の演習になれた理系学生への配慮を上回る形態（頻度，インストラクター数）で実施されなければならない。論理学の授業補佐を目的とした人員は望むべくもない現状では，このような問題の解決策の一つとしてCAIの使用が自然な選択肢として現われる。

3. 論理学CAIの背景

論理学CAIには，他の分野とはやや異なった背景がある。与えられた論理式が恒真であるか否か，証明可能であるか否かといった論理学上の問題は理論的計算機科学や人工知能等といった分野の基礎と密接に関連している。それゆえ，論理学CAIアルゴリズムの中核となる，証明の生成，自動証明，proof checker，などは，計算可能性の理論的研究が始まる当初から，初期コンピュータ開発の時期を経て，大型計算機全盛の時期を通して長年にわたり研究が進められていた。このことは，同時に，実際の決定手続きを行うプログラムも大型計算機上で盛んに開発されていたことを意味する。1970年代中期までに，Stanford大学のP. SuppesのグループはCAIを開発し，立ち上がってまもないコンピュータ・ネットワークを通して遠隔地の教育機関でのCAI使用の実用化を実現していたことが記憶される。

こういった背景を理由の一部として，論理学CAIは，大型計算機の時代からパソコン普及の時期に入ると，論理学の関連する多くの分野で研究・教育に携わる人達により益々さかんに開発さ

れ，その種類も基本的デザインも多用になっていった。

3.1 論理学における二つの方法と CAI

多様な論理学CAIは，論理学における2つの方法論――意味論的および構文論的方法――に対応して，大きく2つにわけることができよう。すなわち，普段使う言葉のなかで，ある前提からこの結論が「でてくる」，という前提と結論の間の関係を，意味論から「論理的導出関係」ととらえるか，構文論的方法により，前提から結論が「証明可能である」とみなすか，という方法論の違いがある。(注2)

意味論的に定義された論理的導出関係は，前提のすべてが真で，かつ，結論が偽であるとき以外は常に成立する関係として定義される。この関係は文論理（命題論理）の場合は，すべての前提を連言で結合したものから結論が論理的に包意されるか否かを，真理表によって調べることに帰着される。真理表計算をプログラムによって行うところがこの意味論的方法にもとづくCAIの要点となる。意味論的方法によるCAIは，文論理のときは，比較的簡単であるが，量化子をつかう述語論理になると，真理表計算はそのままでは使用できない。タブローによる方法等，工夫が要求される。後に検討するTarski's Worldというは，タブローの方向へはいかず，視覚情報の助けをかりて，述語論理でも意味論的方法を保持しようとするところに特色がある。

他方，構文論的方法をとった場合は，前提から結論が出てくるという直観的関係は「証明可能性」により定義される。すなわち，前提となる記号列を，あらかじめ定められた記号列変形ルールとしての推論規則により随時変形して，結論へと行き着く，という形で構成的に定義された前提から結論への「証明可能性」によって，「前提から結論がでてくる」という関係を学習することになる。この方法では，もっぱら記号の意味に立ち入らず，記号列の変形ルールの習得に重点がおかれる。Gentzen流のシークエント計算をプログラム化し，構文論的なCAIを作成することは比較的容易であろう。後に紹介するMacLogicは自然演繹をCAI化したところに特色がある。

2つの方法論により作成されたCAIのうちで代表的なものを，それぞれ，選び紹介しよう。CAIとしてのユーザー・インターフェースが優れているか，ドキュメントの整備状況，普及率，さらに，複数の教育機関で，たんなる試用にとどまらず，通常のカリキュラムに組み込まれた形で使用された実績があるか，こういった観点も含めて，代表とみなせるもとして，ここでは，Tarski's World とMacLogicの2つをとりあげてみた。これら以外にも出来の良いソフトがあることはいうまでもない。

4. 論理学教育用 CAI の種類と入手方法

4.1 ハードウエア環境についての注意

どのような種類の論理学教育用CAIがあるか，どのような仕方で入手できるか，これらを説明するまえに，ハードウエア環境について一寸注意しておかなければならない。実際に授業にCAIを導入し，多数の学生が学習に利用できる計算機環境は，個人がCAIを入手して評価のために試用する環境とはレベルが異なっている。

個人が試用するには，MS Windows（Ver. 3.1以降）が走るIBM PC/AT互換機（CPUは，Pentium 100以上，メインメモリ16以上，ハードディスク容量1 ギガ程度）あるいは，漢字トーク7.1以降の載っているMachintosh（Power Macがのぞましい）があれば十分である。Macの場合の仕様は，CPUがPC 601，クロックタイム100 MH以上あれば，実用に耐える環境が構築できる。さらに，プロバイダ等を経由してインターネットに接続されていなければならない。

研究教育機関内でイーサネット等によりネットワークに接続されているマシン環境では，ファイル転送時の待ち時間が軽減される。インターネッ

トのナヴィゲーション・ソフトを使い，以下に示さるIPアドレスをもつホームに行き，CAIに必要な情報を入手し，さらに，場合によっては，CAIプログラムそのものもネットワークを通して入手できる。

4. 2 Tarski's World について

Tarski's Worldを他のCAIから際立たせる特徴は，対象言語のみならず，対象領域についてもディスプレイ上に視覚を通して提示し，かつ，視覚情報に導かれるゆえに使い勝手の良いインターフェースの作成にある。このような特徴のため，学習者は，対象領域の状況とそれを記述し推論を組み立てる対象言語の双方を共に包括するメタ言語空間を，コンピュータの端末にいわばのめり込む形で内側から体験できるようになる。

Tarski's Worldの段階では，前提から結論がでてくるという関係は意味論的にとらえられ，論理的導出関係となる。すなわち，前提が真なのに結論は偽となるとき以外は，前提から結論が論理的に導出される，とみなす。これは，いわば，結論がでてこないときの最低限の，もっとも寛容な条件である。すなわち，タルスキー意味論では，寛容になりすぎた条件によって，前提から結論が出てくるということを規定していることになろう。それゆえ，日常の常識に基づいた「論理的直観」からは論理的に結論が出て来るとは到底いえないときでも，意味論的に規定された論理的導出関係では，出てくるとされてしまう場合がないとは言い切れない。

このような事態に対処するため，状況にかかわるパラメータをふやしてやり（Tarsik's Worldでは明示的ではないが）トートロジーよりもきめのこまかいものとして「論理的真理」を定義し，こちらにもとづいて，前提から結論がでてくるという関係を（前提が真で結論が偽以外のときはいつでも結論が導出されると定義される）論理的導出より条件をきつくした形で定義しなおそう，という考えが成り立ち得る。こういった考えのめざす方向は後継のソフト HyperProofにおいて，視覚情報を一つの推論コマンドの形（observe command）まで取り込むことで，部分的に実現されている。

Tarski's Worldは，論理学入門のテキストブックBarwise and Echemendy (1995) という本に添付されたフロッピーとして入手できる。あるいは，テキストブックとは独立に，簡単なマニュアルとフロッピーだけから成るTarski Lightという冊子の形でも入手できる。詳細は <http:// www-csli.stanford.edu> というホームページで読むことができる。発売を担当しているCambridge University Pressへのリンクもはられており，オンラインで注文できる。マック版とウインドウズ版のいずれでも存在する。なお，サイトライセンスは1000米ドルである。ヴァージョンアップ・サーヴィスは受けられないが，一つの大学内であれば自由な使用が許可されるメリットは大きい。連絡先の電子メールアドレスは

<Dikran@CSLI.Stanford.EDU>

である。

4. 3 MacLogic について

構文論的な方法にもとづくCAIの代表として，MacLogicをとりあげよう。MacLogicは，Gentzen流の自然演繹にたいするproof checkerをふくんでいる。Gentzen流の自然演繹の利点は，推論上問題となる差異は，自然演繹で隠されずに顕示されるところにある。推論の効率や見易さ簡潔さ，こういった条件を優先したばあいは，前提から結論が導来されることを木目細かく見る必要はない。ある特定の目的（たとえば決定可能性）だけに着目しているとき，演繹を規定するすべての条件が顕示されたら，うるさくてしょうがないであろう。しかし，自然演繹では，前提から結論が出てくるという事態に関わる要素が，他の演繹システムよりも詳しく，かつ，より広範に，顕在化される。直観的な論理的導来についてより精度の高い分析を可能にする装置が自然演繹である。教育課程において，効率のいい推論体系をはやく身につ

けるより，原理的に大切なことはなるべく見過ごさずに学習していきたい，というとき，自然演繹は適した選択であるといえる。

自然演繹では，個々の推論規則の意味は（一部例外を除き）比較的明確であり，初心者でも容易に理解できる。しかし，いざ，これらの推論規則を組み合わせて与えられた前提から所定の結論への演繹図を自ら書こうとすると，なかなか自力で作成できるようにはなれない。単純な規則を繰り返し適用してコツのようなものを学ぶには演習が欠かせない。しかし，それをチェックしてくれるチューターが容易にみつからない。こういった自然演繹と現在の授業環境にまつわる短所をおぎなうのに，MacLogic は最適といえよう。このソフトに支援されると，論理学の初心者でも，自然演繹のなかで演繹図を構成する行為のなかへ直接飛び込んだかのような感覚を容易に体験することが可能となろう。

MacLogic では，自然演繹の体系がそのままコンピュータ上で使えるように作られている。学習者の書いたGentzen流の自然演繹の証明図をソフトが自動的にチェックしてくれる。マニュアルも充実している。しかし，Tarski's World とは異なり，ソフトだけで学習を進めていくようにはできていない。別途に平行して授業を展開し自然演繹を講義する必要がある。したがって，学習者が自力で証明図を書けるようになるために不可欠の演習の部分を CAI 化したものといえよう。このソフトに授業の全面な置き換えを期待することは無理であろう。

構文論的方法によるCAIの場合は，計算機による処理の容易さを優先させるためか，証明を記号列（の列）として CAI 化することが通例である。むしろ，記号列としての側面より，視覚情報に依存する幾何学的図形としての性質が突出している自然演繹の証明図をディスプレイ上に手書きのときと同様の仕方で表示し，人間にとっての証明図の見易さ・扱いやすさをソフトの中に実現したところに Mac Logic の特色がある。

このソフトはオンラインで，開発者 Dyckhof のホームページより ftp により入手できる。 St. Andrews 大学としては，論理学 CAI 以外の教科にたいしても計算機を用いた授業を展開している。同大学の CAL の全体像は<http://www.st-and.ac.uk/cl/cal/CALSurvey/allsurvey.html> で見ることができる。大学としてのポリシーのゆえか，ftpに先立って電子メールでの連絡が必要のようである。これは同大学で開発された CAL 全般について，実験・試用段階を終え実用段階に入ったためとも考えられる。しかし，MacLogic に関しては，開発者本人 Roy Dyckhoff のホームページから ftp できる。詳細はインターネットのブラウザーで読める。彼のホームページのアドレスは <http://www.dcs.st-andrews.ac.uk/Admin/People/Details/rd.html> である。(注 3)

4. 4 H.J.Keisler の Logic CAI

H. Jerome Keisler によって開発された学習ソフトを表題だけあげておこう。彼の書いた教科書 Keisler (1996) の付録としてフロッピーが添付されている。これには、proof checker をはじめ，いくつかの学習用CAIがはいっている。ウイスコンシン大学で実際に使用されていると思われる。Model Theory における標準的教科書の共著者の一人である Kiesler の手によるものだけに，意味論的方法と構文論的方法がどのような仕方で CAI に反映されているか，注目される。今回は検討するための十分な時間がえられなかった。機会をあらためて，詳しく検討したい。

5. 実際の授業で CA Iを使用するときの留意事項

個人による試用の段階から，一つの教育機関のなかでの授業における使用に移行したとき，遭遇する問題点を指摘しておこう。論理学自習用のソフトは，講義と併用することでより効果的に使用されるよう作成されていることが通例であろう。

また, 受講者各人によるまったくの自習だけで学習効果が得られるように作成されているソフトであっても, 指導にあたる担当者から何らの指導を受けずに使われた場合, 教育効果の低減はさけられない。コンピュータ利用を前提とした論理学教育は，したがって，比較的大人数を収容可能な教室での講義と小人数に分割された自習クラスの併用によって行われたとき, 教育の効果と効率のあいだに適切な調和が実現される。

聴講者による CAI の個別使用により, 従来の講義を上回る数の聴講者に一斉講義を実施しても学習の効率の低減を抑えることが期待できる。比較的小人数に分割された実習クラスでは, 講義担当の教官が直接実習を担当する必要はない。コンピュータの取扱になれたティーチング・アシスタントに担当してもらうほうが, コンピュータの使い方を習う側からいっても無用な混乱が回避でき，むしろ望ましいとさえいえよう。ティーチング・アシスタントの確保が難しいならば, (CAI 導入の初年度は別にして) CAI による論理学の授業をすでに前年度に履修した学生のうちからボランティアを募ることもできる。さらに，CAI による自習クラスでは，そもそも，同一学年の学生のみにより一つのクラスが構成されていなければならない必然性はない。

CAI を使用する自習クラスでは，学習進度は，各学生毎に異なっていてよいし，また，それが普通となろう。授業年次計画によっては，2 年度目にさらに先のほうまで論理学 を CAI により自習する学生と、入門部分の論理学をソフトウエアによって自習する学生が、同一時間帯の演習クラスに共存してもかまわない。むしろ，ことなったレベルの学生が演習時間に共存することによる効果が期待できる。すなわち，端末の使用にかかわる細かい仕様等は, むしろ一度経験している先輩に気さくに尋ねるほうが, 指導員等へ愚問との評価を恐れながら尋ねるよりも，効率よく学習できる。論理学の講義担当者は，これらの点をふまえて演習クラスを思慮深く準備・配置することにより，開講時と，それに続く数回の演習クラスで CAI の使い方の説明さえ丁寧に実施してあれば, あとは, 主に大人数の一斉講義に専念することができ，しかも，個々の学生はCAI演習クラスの活用により講義内容のより確実な理解がえられる。

6. むすび

本稿では，論理学教育とコンピュータの利用を，CAI に絞って検討した。論理学教育用の CAI 開発は, 歴史的な背景から恵まれた環境にあること，また，理論的観点からは，意味論・構文論という 2 つの方法論の違いに応じて論理学 CAI も大きく二分されることを指摘した。さらに，論理学における CAI 活用の成果が期待できる所の一つとして，従来の授業環境では容易に実現できなかった演習の機能を CAI により遂行できることを見た。対象言語で書かれた証明図の構成過程に直接のめり込む，という体験しがたい所が，初心者でも CAI の支援を得れば比較的容易に(ディスプレーとキーボード操作に慣れさえすれば)体験可能となる。Tarski's World, MacLogic を紹介したあと, 実際に大規模な授業に論理学 CAI を導入した場合の留意事項を列挙した。

注

1. 本稿で述べられた事項は，部分的に，科学哲学会で過去数年にわたり実施されてきたワークショップ『論理学教育の現状と展望』を通してえられた成果にもとづいている。これに関わった方々に感謝します。ただし，本稿における責任はすべて筆者にあることは言うまでもありません。

2. 構文論・意味論という二つの方法については，Kleene (1967) が詳しい。最近の論理学の入門書としては，Machover (1996) が推奨される。

3. MacLogic に関する情報の入手については, 大沢秀介氏に負うところが大きい(注 1 参照)。関連する情報については, 次のサイトも参考になろ

う。

http://www.phil.indiana.edu

http://www.liv.ac.uk/srlclark/listhtml1

http://www.phil.ruu.nl/philosophy-sites.html

http://csmaclab-www.uchicago.edu/PhilosophyProject/philos.html

参考文献

Barwise, Jon and John Echemndy (1995), "Language of the First-Order Logic," *CSLI (Center for the Study of Language and Information*). Stanford University, 4th edition in 1995.

Keisler, Henry Jerome (1996), "Mathematical Logic and Computability, " *International Series in Pure and Applied Mathematics.*McGraw-Hill

Kleene, Stephen Cole (1967), *Mathematical Logic.* John Wiley.

Machover, Moshe (1996), *Set Theory, Logic and Their limitations.* Cambridge University Press.

「論理学教育の現状と展望, (1), (2), (3)」, ワークショップ報告,『科学哲学』, **vol. 27** (1993) - **29** (1995) に収録。

The ASL Committee on Logic and Education(1995), "Guidelines for Logic education," *The Bulletin of Symbolic Logic*, **1**, Issue 1, March 1995, 4-8,(This article is available through<http:// www.math.ucla.edu/~asl/bslcontents.html>