

# CALが目指すもの

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授  
CATS先端研究所 (CAL) 所長 (非常勤)

## 二木 厚吉

CAL (CATS Advanced Laboratory) は、最先端技術の世界へ発信することで、新しい時代をデザインすることを目指す。そのための研究アプローチは、次のような新しいパラダイムを指向する。

- アドバンスド (先端) アプローチ：  
ビジョンを明確にして、先端基礎研究、先端応用研究を推進する。
- オープンコミュニティ：  
組織内に閉じず、社内外、国内外の一流のプロフェッショナルと積極的に交流する。
- リアルタイムコラボレーション：  
理論や手法の開発と、その適用現場の実務領域との交流、情報共有を図り、シーズ適用、ニーズ抽出を迅速に行う。

こうしたパラダイムに基づき活動を展開することで、サイエンス、テクノロジー、エコノミクスを有機的に連合し、産業、行政、研究、教育などのさまざまなセクターを横断する活動が可能になると期待している。

CALのビジョンは、現在CALに関係している人々の夢を実現するための「夢の研究所」のビジョンである。以下ではこうしたビジョンに導いた4つの視点を素描する。

### 1. ソフトウェア的な社会

CALがソフトウェアの研究所に収まらない可能性は大きい。しかし、CALのビジョンがソフトウェアが蔓延したソフトウェア的な社会を前提としたものであることは確かである。

ソフトウェア技術またはソフトウェア工学といった文脈におけるソフトウェアは、「要求仕様書、設計仕様書、ソースプログラムコード、実行形式プログラム、操作マニュアル、検証報告書などの、コンピュータプログラムに関連する文書群」と定義することができる。しかし、現

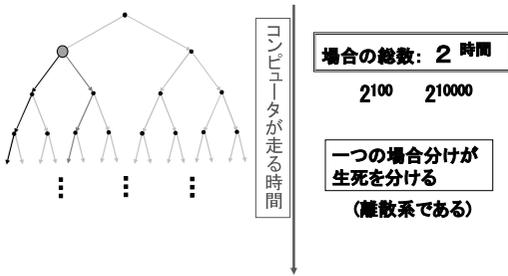
実の社会において意味を持つ「ソフトウェア」とは、文書としてのソフトウェアが、多数のコンピュータがネットワークで結びついたシステム上で実現する機能やサービスである。ソフトウェアという言葉は、むしろ、この実現される機能やサービスを指すことが多い。ソフトウェアが、工業製品ばかりではなく社会の各層に入り込んだ現代社会において、ソフトウェアは我々の生活基盤の基本要素となっている。

ソフトウェアを従来の物理化学的な対象物と峻別する特質として、それが離散的で最終的にビット列として表現されるデジタルなものである点である。デジタルであるがゆえに、ソフトウェアは時間と空間を瞬時に飛び越え、ネットワークで結合された世界に均一で汎用的な機能とサービスをもたらすことができる。さらに、記号の並びである文書としてのソフトウェアの記述や解析のために形式言語理論、形式論理学、アルゴリズム論といった、従来の連続系のための科学技術とは異なる、新しいタイプの科学技術が発展し、その発展の帰結として、ソフトウェアの「意味」や「価値」を適切に扱う科学技術の必要性が顕著になっている。

ソフトウェアは従来想像も出来なかったような膨大な場合の数を扱うことを可能とする。たとえば、ソフトウェアをコンピュータ上でN単位時間走らせると、2のN乗の場合を生成し識別できる。こうして、ソフトウェアは2の100乗、10000乗…といった膨大な場合の数を日常的に扱っている。この能力は従来の科学技術では実現不可能なものであり、ソフトウェア (が実現しうる機能やサービス) の最大の特徴である。この機能を巧妙に利用したものの一つとして検索エンジンを核にしたインターネット上の検索ビジネスがある。

デジタル (離散的) で膨大な場合の数を扱うことで特徴付けられるソフトウェアは、オー

ソフトウェアは膨大な場合の数を扱える



ブンで自由なシステムの社会への浸透を可能とし、現在我々が住む社会の基本的な特質を規定しつつある。幾つかの例を挙げるとすれば、鉄道から道路へ、電話からインターネットへ、あらかじめ信頼性を確保できるシステム (Guaranteed System) から運用しながら何とか信頼性を確保せざるを得ないシステム (Best Effort System) へ、あらかじめ特徴付けられる性質 (Functional Property) から運用してみないと特徴付けられない性質 (Non-Functional Property) へ、技術論だけで設計可能なシステム (Technical System) から社会とのインターフェースを考慮しなくては設計できないシステム (Socio-Technical System) へ、外界との交渉なしに閉じて運用できるシステム (Closed System) から外界に開かれたシステム (Open

System) へ、といった変化がある。CALのビジョンの根底にこの認識がある。

ソフトウェア的なものが  
オープン化とグローバル化を加速する

ソフトウェア的: デジタル(離散的)+膨大な場合の数を扱う

従来のシステム	ソフトウェア的なシステム
鉄道 電話	道路 インターネット
Guaranteed Systems Functional Properties	Best Effort Systems Non-Functional Properties
Technical Systems Closed Systems	Socio-Technical Systems Open Systems

2. ソフトウェア工学の軌跡

ソフトウェア工学は、ソフトウェアの作成と運用のための科学技術として発展してきた。CAL技術顧問の大槻氏は、ソフトウェア工学の発展の軌跡を、Brooksのソフトウェアの4つの本質的困難と1970年代、80年代、90年代、2000年代を対応させることで整理している。さらにその4つの本質的困難を解決する本質的技術として、抽象化、自動化、モジュール化の3つを挙げている。

◇本質的困難(時代、社会的要請)

F.P.Brooks Jr.のソフトウェアの4つの本質的困難を時代の要請に応える形で焦点をあてて技術開発がなされてきたという歴史解釈です。

	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代
時代	規模対応の時代	方法論の時代	可視化の時代	変化対応の時代
本質的困難	<b>複雑性 (Complexity)</b> 大きいこと、複雑であること、それ自体が本質的な問題である	<b>順応性 (Conformity)</b> 単純な原理は存在せず自由度がたかく、人間の世界に順応させなくてはならない	<b>不可視性 (Invisibility)</b> 物理的な世界ではなく、概念の世界でしか捉えることができない	<b>変更可能性 (Changeability)</b> システムが社会に組み込まれるが故に、絶えず変化し続けなくてはならない
社会的要請	業務効率化 量的拡大・生産性向上	業務改善・連携 品質向上	業務統廃合 説明責任・透明性確保	構造改革・ビジネス創造 多層コミュニティ
視点	大衆化・構造化	プロジェクトマネジメント 組織化	調達・受発注取引 コンポーネント化	価値・リスク算定 自由市場、モジュール化

Frederick P. Brooks Jr.  
The Mythical man-month: essays on software engineering, Addison-Wesley, 1975; Anniversary edition, 1995  
(滝沢他訳, 「人月の神話: 狼人間を撃つ銀の弾丸はない」, 星雲社, 1996)

## ◇本質的困難(詳説)

### 複雑性 (Complexity)

複雑性 (complexity) とは、ソフトウェアは大きくて複雑なこと、それ自身が問題なのだということです。レゴブロックを集めて組み合わせるようなわけにはいきません。他のどのような構造物よりも複雑です。しかもサブルーチンにせよクラスにせよ他の部分との依存関係も大きくなるほど非線形に増大します。何千万行という規模のシステムがごろごろある現状からみても、この問題は深刻です。

### 順応性 (Conformity)

順応性 (conformity) とは、ソフトウェアはソフトウェア単独で存在しているのではなく、ハードウェアやネットワーク、他のシステム、人間の行動や習慣にいたるさまざまなものと関係を持ち続けるものであるということです。ソフトウェアの宿命は、こういった外部に常に順応し続けなくてはならないところにあります。

### 不可視性 (Invisibility)

不可視性 (invisibility) とは、ソフトウェアが複雑な概念の集積であることに起因して、それが見えないということです。開発プロセスや意思決定の経緯も見ることができませんし、単純な図面で全体が理解できるということもありません。最近各方面での「見える化」の活動もこういった困難への一つの挑戦ともいえるでしょう。

### 変更可能性 (Changeability)

変更可能性 (changeability) とは、ソフトウェアは常に変化し続けなくてはならないということです。たとえ、当初の計画通りシステムが出来上がったとしても、それを使っているユーザはさらなる要求を思いつくでしょうし、そもそも出来上がったシステムが世界を変えてしまうため、人間の認識にも影響を及ぼし、新たな要求がでてくることになります。最近のビジネス環境の変化は激しいですし、技術進歩も速いので、ソフトウェアもこれに常に対応していくことが要求されています。

## ◇本質的技術(技術の方向性)

### 抽象化 (Abstraction)

抽象化 (Abstraction) とは、問題を解決するために不要な情報を捨象することです。プログラミングの場合でも、その歴史が示すように、ハードウェアレベルから順次、抽象度を上げてきています。種々の方法論や支援環境においても、人間の知的活動を支援し、問題を的確に解決すべく抽象化を進めてきています。

### 自動化 (Automation)

自動化 (Automation) とは、ツール活用やプロセスの最適化によって、誤りを減らし、作業を効率化することです。単純で手順化された作業は、計算機や機械によって網羅的、機械的に実行することが可能になります。

### モジュール化 (Modularization)

モジュール化 (Modularization) とは、ソフトウェアの構成要素を独立に管理できるものに分割することから、さらに組織的に役割分担が可能ないように社会的な制度を構築することまで広範な概念です。

複雑性、順応性、不可視性、変更可能性の4つを本質的困難とし、抽象化、自動化、モジュール化の3つを、それらを解決するための本質的技術とする見方は、ソフトウェアを取巻く複雑多様な技術課題の解決策を見誤らないために重要である。CALのビジョンの基本にこの見方がある。

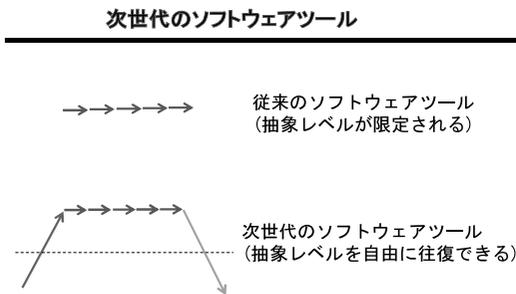
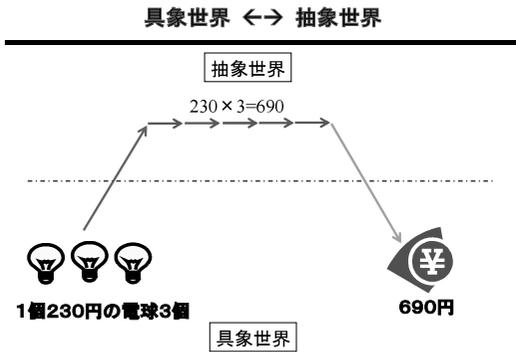
### 3. 形式手法とソフトウェアツール

形式手法 (formal methods、フォーマルメソッド) は、プログラムコードの解析・検証から設計や仕様のレベルでの検査まで、着実に現場に入り込みつつある。形式手法への過剰な期待は、その本質を見誤る危険性を常に含むが、先の3つの本質的技術は形式手法の基盤なしには成立し得ないことも事実である。形式手法の一つの意義は、ますます複雑多様化するソフトウェア技術分野において、基本原理を見失わないためのバックボーンとしての役割にあるといえる。

形式手法を、個別の手法やツールの集合体としてではなく、ソフトウェア技術のバックボーンとなりうる統一的な分野として捉えるためには、VDM, Z, OBJ, CafeOBJといった形式仕様言語 (formal specification languages) による形式仕様の開発が形式手法の中心にあるとする見方が適切であろう。こうした立場からは、形式手法に期待される最大の効用がシステムの信頼性や安全性などの基本的な品質のできる限り客観的な記述、解析、検証にあるとし、形式手法の基本要件を以下の2点とすることができる。

- (1) 数学的に定義された形式言語によりシステムのモデルが記述される。
- (2) その記述が数学的に解析、検証される。

このように特徴付けられる形式手法は、ソフトウェア技術分野だけでなく、多くの分野を対象とする汎用のモデル化と解析のための科学技術として発展しつつある。



ソフトウェアツールはコンピュータを問題解決の道具として現場で機能させるために本質的である。新しい時代をデザインするためには、新しい次世代のソフトウェアツールを構想する必要がある。それに期待される機能は多くあるが、抽象世界と具象世界の自由な往復が、次世代のソフトウェアツールの最重要の基本機能であろう。形式手法は、こうした次世代のソフトウェアツールを構想するためのバックボーンとなり得る。CALのビジョンの背後にこの期待がある。

#### 4. ZIPCとCafeOBJ

ZIPCは、ベンダーが提供し産業界で実際に使われている日本製のソフトウェアツールとして、ユニークである。長年にわたり自主技術を培い、常に最先端の技術を取り入れつつ、多くのユーザーを獲得してきたことは、日本の産業界における多くのソフトウェアツールが海外のツールの日本語化バージョンであるという現状において、貴重な存在である。

CafeOBJは、日本において研究開発された形式仕様言語システムとして、ユニークである。

VDMやZという従来の形式仕様言語が集合、直積、関数といった標準的な数学概念を用いて問題のモデルを記述するのに対し、代数仕様言語であるCafeOBJは問題のモデルそのものを代数系として記述する。さらに、VDMやZが基本的に実行不可能な言語として設計されているのに対し、CafeOBJは実行可能言語として設計されている。その結果、CafeOBJ言語システムでは、記述された仕様を適切に実行することで対話的な検証が可能となる。CafeOBJ言語システムは、こうした最先端の特徴をもつ形式仕様言語システムであり、二木研究室を中心とする国際的チームにより日本において設計開発されてきた。

CALは、ZIPCとCafeOBJという独自の成果を核として、ゲーム理論など今後重要となる分野も視野に入れ、次世代の先端科学技術を世界に発信することを目指している。