

人間知能の活用を通じて繁栄を実現しよう

○河野善彌 (Creation Project), 陳慧 (国士舘大学), H. アボールハッサニ (シャリフ工科大学)

Human Intelligence Enables Prosperity

*Z. Koono (Creation Project), H. Chen (Kokushikan University),

H. Abolhassani (Sharif University of Technology)

Abstract- This paper reports a mental mechanism and the characteristics for human intentional activities as applied to trans-disciplinary activities. The elementary knowledge is a pair of a parent concept and its children concept as expressed by natural language, and the mechanism is repetitive hierarchical decompositions using the knowledge. Thus accumulating knowledge, Homo sapiens built up early culture and technology. Use of this common structure enables trans-disciplinary operations, which invites industrial prosperity.

Keyword: Human Intelligence, Trans-disciplinary, Knowledge, Software Engineering, IE, Improvement

1 はじめに

工学の任務は世界～社会～組織/人類～人への貢献にある。特に横断的な工学の効果は大きく、横貫の狙いはそこにあると思う。日本の横断的技術による成功事例を振り返る。第2次世界後の復旧から高度成長経済に移行する1960年、産労学官の協力体制で全産業の生産性向上運動が開始された¹⁾。この時の横断的技術は、科学的合理的定量的な Industrial Engineering²⁾ (IE, 経営工学)であった。

先進企業では全社員に「IEの初歩」を教育して、製造作業は標準時間の請負制に移行した。IE技術を駆使する、

- ・生産の改善を目指す生産技術および
- ・品質の改善を目指す検査/品質保証、

の2部門が製造を支え、製造職場は作業さされる組織から作業しつつ改善する組織に進化し、透明化した。

最も立遅れていた品質技術分野から、所謂日本のTQM (Total Quality Control 現在では Management) が産まれた。

これはprocessの改善だから、効果は全てに及んだ。半導体、TVから自動車等、日本の全製品の品質が向上し、世界に進出する原動力になった。また、定量計測と最適化の技術は全産業に行渡った。現在でも、交通機関の定時刻発着、何時行っても必ず欲しい商品が買えるコンビニやトヨタのKAIZEN等は世界に有名である。横貫の使命は横断的技術で日本の産業を世界のトップに押し上げることだ。

河野はこの移行期から産業界で働き、設計から製造、ハードからソフト、技術から管理に従事した。これらから、共通な知の存在を確信し、1991年より10年間、埼玉大学で共著者ともども「人に倣ったソフトウェア自動設計」^{3, 4)}を研究した。これは人の基本的な知の構造の研究でもある。これらでproductとprocessの知の構造や特性が解明され、理論と実績の関係もつなげた^{5, 6)}。本論文はその横断的側面の概要を報告し、横貫活動の中での活用を提案する。

2 ヒトの意図的行動

2.1 人の歴史

約10万年程度前にホモサピエンスが出現した時、地球には既にネアンデルタールが居た。しかし、ネアンデルター

ルは最終氷河期の終わる約1.5万年以前に死滅し、ホモサピエンスは生残った。この理由が研究された。ネアンデルタールは声帯の位置や口蓋等の身体構造的から音声を言語とするように広範囲かつ自由自在には操れなかった^{7, 8)}。その為に、知も技術も発達せず、最も厳しかった最終氷河期を乗り切れずに死滅したと云われる。

ヒトは永年の自然淘汰の中で音声言語に適した身体を遺伝的に作上げ、自然言語および知的能力の向上を達成した。他の生物では、遺伝でしか経験等を後世代に継承できないが、ヒトは言語表記した情報/知識を蓄積し利用して、世代を越えて力を継承し、発展させる。最終氷河期の後、約1万年前からホモサピエンスは定住し農耕を始めた。数1000年前にはエジプトのピラミッド建設や中国での黄河の治水工事等の大規模な集団作業が行われた。各文明は初めは神を祭る政治、次は王制と、社会的体制を整備し、文明が発展し始めた。これらの系統的進化は、ほぼ世界中揃っている。これらは言語更に文字を使った知識の蓄積で達成された。人間知能の軸は言葉にある。

2.2 Productの知の構造

言語による知を支える「意図的行動の知の構造」を説明する。ヒトは外界の情報を各種感覚器官を経て符号化し、脳内で処理し、要すれば記憶し、また各種運動器官を駆動して、ある行動を行う。特に目的に向けた合理的な「意図的行動」は中核的な力である。Fig. 1は数種の意図的行動を、対象/productの単位的な展開に揃えて示した^{9, 10)}。

Fig. 1aは戦争の計画段階である。戦争の最終目的は国益向上であり、「目的の階層性」は戦争計画の基本原則⁹⁾とされ、図はその1例である。最高司令官は、課された戦争の最終目的を実現するべく三軍を動かす方策(戦略)に展開し、各軍の長に指令する。各司令官は指令を展開して具体化し部下に指令する。階層展開を繰返して計画を作る。

Fig. 1bはプログラム設計の1例である。ここでは、データと機能を明記するデータフロー図を用いる。仕様「時計」は入出力のデータで規定され、単位データフロー(UDF)になる。これを引伸し、「時刻」と「時刻表示」で直列的に3

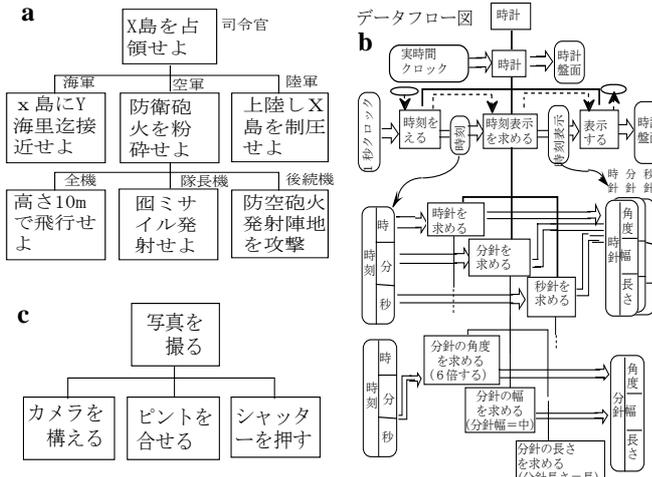


Fig. 1 各種の階層展開

分断し、階層展開される。この時、各機能の実行順序を示す小さなフローチャート(破線)が生じる。次にUDF「時刻表示を求める」を3分断し並列的なUDF群を得る。概念の階層展開を繰り返して単位的機能にして、最後に実現手段(たとえばプログラム言語表記)に移行する。プログラムは実現手段に過ぎず、本質ではありえない。

Fig. 1cは「写真を撮る」身体動作を3段階に階層展開する。この中の「カメラを構える」は下位動作に階層展開され、最終的には筋肉を制御して意図した行動を実現する。

経営などの最高レベルから最下位の身体的な行動に至る迄、全ての意図的行動の知は(主として自然言語の)概念の階層展開の繰り返しの統一構造で処理され^{9,10}、その蓄積の上に現在の世界がある。文明の発展はこの結果である。

2.3 Processの知の構造

Fig. 1の対象のproductの面に続き、その実現過程/process/工程の技術をFig. 2¹⁰に示す。最上位の生産から開発、各設計と流れを見ると、これはFig. 1と同じく意図的行動である。更に、これはFig. 1のproductに直交する概念/processである。図の最下部にはproductの階層展開網モデルを示す。processはこの網の展開を制御している。

工程はproductに直交的な管理手段である。各作業を分断する為、工程の端面の図面あるいは中間成果物を定義する。分断した工程毎に担当者に処理の権限を与え品質~納期の責任を負わせる。管理の手段として、工程を「分割し

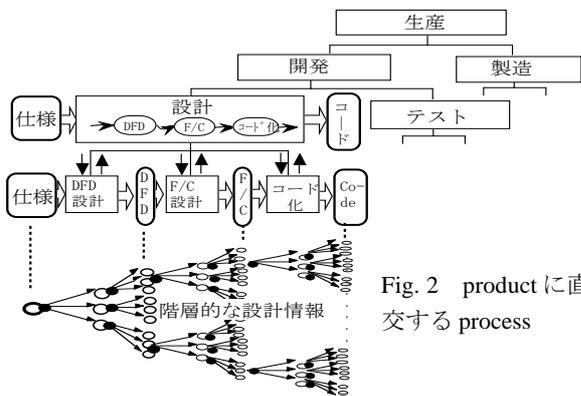


Fig. 2 productに直交するprocess

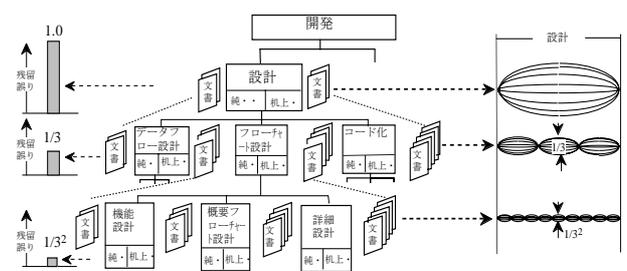


Fig. 3 工程を分割し統治する

統治する」手法を用いる。Fig. 3¹⁾の階層的工程を説明する。[純化]ある工程を複数の下位工程に展開し各端面を統制する。降るほど強く統制され右図の如くバラつきが減る。[誤り率低下]作業には誤りがある。品質に責任を持たせ工程毎にチェックする。M分割で誤り率は1/Mに低下する。[管理強化]端面のみでなく手順も規定し計測もする。[トレーサビリティ]外部特性を工程毎に計測する。細分化する程、悪い工程が精細に特定できる。feedbackの要。あまり知られていないが、この工程/processの分割統治は現在の日本ハード生産の要であるとも言う。

「工程」processは、工程の外部から評価/計測し管理するもので、その対象内には立入らない。内部は各productの技術に委ねる。かくすることで、processの管理の技術はproductに直交的になるから、一般性があり広く利用され、大きな効果を産む。この考えをぜひ横貫に取入れたい。

3 知の働き

3.1 意図的行動の実現

筆者等の「人に做ったソフトウェア自動設計」は、Fig. 1の諸例のように、親から子群への単位的展開を単位的productの知識とする。更に、Zipfの「労力最小化の法則」¹⁴を基礎にする。これは「ヒトは問題に直面すると、まず最简单な解を試み、不可ならより高度な解法を取ることを繰り返す」と云う複数知的エンジン説である。Rasmussenはこれらを、技能レベル、ルールレベルおよび知識レベルと3典型化した¹⁵。筆者等のソフトウェア自動設計では、インスタンス/展開形を使う「技能」、単位的展開から抽出したスケルトンを用いメソッドで仕上げる「ルール」、辞書的な知識を使う「知識」の各レベルの自動設計の原型を実現した^{4,5}。特許権利化が進行中で実用化研究を再開したい。

3.2 定量的な特性

人の意図的行動は全て前記方式で実現でき、そのモデルは工数や欠陥(誤り)の定量的な理論推計が行える。理論推計の結果は、従来の経験則を裏付けるものになった。

Fig. 4はソフトウェア開発について、横軸に作業規模であるソースコード行数、縦軸にFig. 4aでは総工数またFig. 4bでは誤り数(欠陥数)を、何れも両対数尺度で打点した。Fig. 4aはBoehmのCOCOMO資料¹²⁾、Fig. 4bはThayersの第3プロジェクト資料¹³⁾を用いた。

開発過程を階層展開網モデルで近似し、生産性 \propto 最終出力数/知的処理総数と欠陥密度 \propto 知的処理総数・処理欠陥

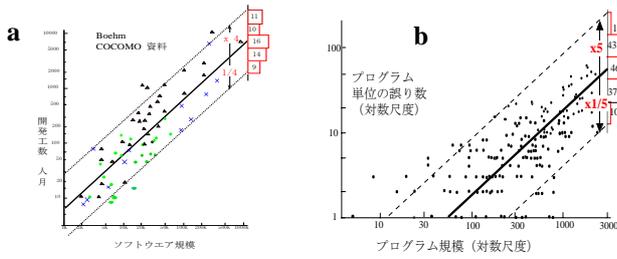


Fig. 4 規模 vs. 工数および誤り数特性

率を求めた。階層展開の実績展開率は平均3弱なので、定率展開として等比級数の公式で理論値を求める。工数評価は単位展開処理あたりに微小工数を消費すること、誤り評価は単位展開処理あたりに微小確率で誤る (human error モデル) と想定した。これにより

- ・系は直線的で展開や統合が可能
- ・生産性＝一定、工数 \propto 規模 \cdot 生産性
- ・欠陥率＝一定、欠陥数 (誤り数) \propto 規模 \cdot 欠陥率

が得られる。この線形性や工数の基礎則は、IEのパイオニアTaylorが19世紀末から経験的に適用した経験則、欠陥関係の基礎則も20世紀の初期から経験的に適用された。約100年の後に理論根拠が究明されたことになる。

実績値の打点の中央傾向線は理論推計に一致する。また、実績は対数正規分布状に分布し、中央値の(1/N \sim 1 \sim N)に集中する。理想的ならN=3、従って1/3 \sim 1 \sim 3になる。Fig. 4aではN=4、Fig. 4bではN=5で、理想から外れる原因があった。この対数正規分布は、多数の影響要因がランダムに相乗的に働く時に現れ、疫学や社会レベルの統計現れる。従って理論推計式の傾向で対数正規分布する。

この大きなバラつきをソフトの特殊性と思う向きがあるが、それは誤りである。ハード量産の初期の人しか経験しないが、ハード製造工程の各種実績特性は対数正規分布状であったし、上記メカニズムがあるから、多数のランダムなサンプルを使えば必ず対数正規分布状になる。

3. 3 知の集積

Fig. 5は技能レベルでの設計の繰返し経験数と新しい知識 (親子の対) の蓄積数の関係を示す。横軸は設計の経験回数、縦軸は新知識の累計種類数である。Fig. 5aは両軸を直線尺度、またFig. 5bは両対数尺度で示した。Fig. 5aのグラフは、初めは急激に立上がるが、次第に勾配の大きさは小さくなる。(逆数の場合、初めに急激に低下し、次第に緩やかに低下する傾向になる。)これはヒトが身体的な競技や知的なゲーム/作業等を行う時に必ず現れる顕著な傾向で習熟特性/学習効果と云う。

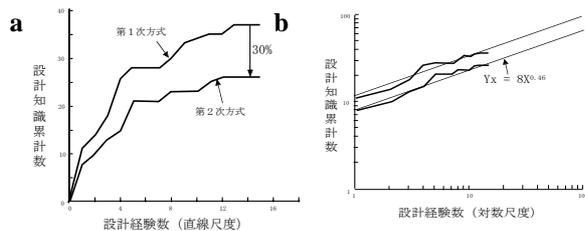


Fig. 5 経験回数と経験の蓄積

Fig. 5bは両対数尺度で書直して表示したもので、直線傾向線が現れた。(結果の重要性に鑑み行った再確認を含め2グラフで示した。)これは対数習熟効果²⁾と呼ばれ、ヒトの関わる特性値のほとんどは対数習熟効果を示す。この直線傾向は、ルールレベルと知識レベルでも確認された。

これらから、対数習熟効果は知識が対数習熟状に増加することにより習熟効果が生ずると云える。従来から「習熟/学習効果には記憶が関わる」と推定されていた。ここで初めて理論的に解明された。対数習熟効果の経験的報告は1936年であり、約70年後に理論的究明された。

図5の両図から知識の使用状況を考える。初期は高頻度な知識が多く、緩やかに次第に使用頻度が低下すると思われる。指数的分布の原因だから負の指数分布状であろう。

筆者等は予てこの種の使用頻度を調べてきた。小はCPUの機械命令語の出現頻度から始まり、少し大きくなるプログラムによる基礎的なマイクロ命令のレベル、その上位の各種マクロ命令、より規模の大きい通常のプログラムの使用頻度分布を調べ、これらが負の指数 (1 \sim 1+ α) 状分布をなすことを見出した¹²⁾。外にも同傾向例が多数ある。

Zipfは英単語の使用頻度統計を取り、単語の使用頻度が負の指数状分布であることによりZipfの法則を証明した。上記の設計の実績も全く同様だから、知識の使用頻度が負の指数状分布であることに起因する。それはヒトが無意識の内にZipfの労力最小化の法則とおりに振舞うことで生じている。これがヒトが関わる (生産性や誤り率等の) 特性値が対数正規分布状を呈する理由でもある。

Fig. 6は (例えば生産性等の特性値の) 超長期的な習熟曲線を直線尺度で示す。各所に特性値の分布図を90°回して貼付けた。初めは対数正規分布状 (中央値 \times 1/3倍から3倍) に広範囲にバラつく。時間軸で少し右に行くと若干習熟し、バラつきの幅が減り、正規分布に近づく。ハード製造は通常は正規分布状で運用し、今は右端に居る。

今の受注ソフトの開発モデルは「顧客の要求仕様を獲得して変換すればシステムになる」と想定する。開発労力の大半は低習熟で良いと考え、作業者を必要に応じて貼付け、作業が終ると他の仕事に回す。投入された人は、Fig. 6のグラフの左端近くから仕事し、若干習熟した所で作業を終える。従って経験/技術が集積しないから、大きなバラつきが原理的に避けられない。それ故、この工程の研究者/技術者には安定な傾向や法則性が見出せないから技術は進展せず、また従事者は知的ではあるが労力集約的な作業の中で繰り返しに陥り、もって業界は何時まで混迷の中から抜けられない。他の産業のように専門化し、技術を先進化、蓄積して事業で成功するパターンとは違う。

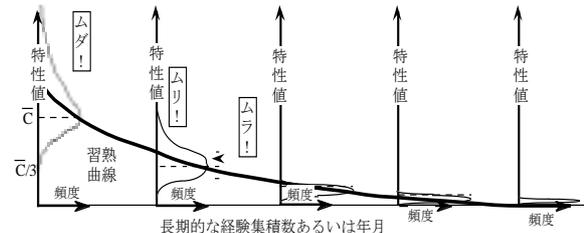


Fig. 6 超長期的な習熟曲線

3. 横貫への提案

此迄ヒトの「意図的行動」の各面を説明してきた。全ての根幹に共通的な知があり、productとprocessも統合/一本化できて、基本的に横貫になじむ。更に具体化する。

◎[工学系の学問/知] 現状の学問は固有視点で個別化/体系化され共通性が乏しい。(そこで境界領域や異分野知識を使うと良い仕事ができる。)工学は効果効用の創出が必須条件である。共通知識構造を下敷にすれば、学問/知が統一的に再構築され、再構築した学問/知は理解し易く利用し易くなる。知識を駆使する根幹を飲込めば、前記の各知識群を入替えて他分野の知の利用が容易である。幅広い人の育成と転換、柔軟なシステム構築が容易化し、生産性は必ず向上し、高度知識社会への適合が良くなる。

◎[技術] 上記の実現/具体化。最高ではない領域に最高の技術を移転して、全領域を最高技術に高めうる。(往時TQMのprocess改善の広がりを感じよう。)

○現時点で落差が目立つ具体テーマ

・所謂ソフトウェア工学 効果が価値を持つ工学と理論が必須の理学を混同している。定量評価の技術が未成熟(未経験)で、原因の分析/評価、原因と結果の分離ができない。新技術が提案されても、他の工学のように、要因とその成績が評価され何が如何なる効果を産むか明確にしない。そこで、提案が次々と重積し続けるのみで実効が上らない。

・具体例 生産性向上が遅れている。(ハード論理設計は標準論理の再利用で自動化が進み、生産性は30年間に数百~千倍位向上した。)この間、ソフト開発は約10倍位しか増加していない。作業者の知の集積/向上を図るより、工数が増える方が利益が増える労働集約産業だから向上しない。ソフト作業もハード同様にIEに則る定量的合理的科学的な管理に移行するべきだ。ソフトの特殊性は概念展開が中心的処理なことで、筆者等の自動化が適合する。

◎将来的~新技術の導入の立場

意図的行動の自動システムをヒューマノイドに利用

・知の集積量と外部的兆候の関係

文化人類学では、人の社会の系統的発展が見える
発達心理学: 言語の発達から能力向上が見える

4 むすび

ヒトの知の働きは、(自然)言語表記の親概念-子概念群を使う階層展開/統合処理にある。この(自然)言語表記の親概念-子概念群が機能単位要素となる知識であり、それは更に下位の各種の構成単位要素の知識で構成できる。この階層展開網モデルは実態を良く説明できる。

ヒトの知の静的な保持は、機能単位要素となる知識である(自然)言語表記の親概念-子概念群の集積である。ヒトの知の働きの大部分は、既存の知識の巨大な集積を用いており、それが前記の単純な知のメカニズムの弱さをカバーしている。この蓄積の特性は実態を良く説明できる。例えばトヨタの各種KAIZENは有名であり、事業に大きな貢献

をしていることもわかる。それに感心する人も多いが、実際に自分で実施できる所は少ない、それは基盤がトヨタ並になっていない為と云う。ある企業の今の成り立ちはその知の集積で決まることを示している。

この知は「人間知能」といえよう。それは知自体の良否のみでなく、社会での栄枯盛衰により選択され、その結果が当を得た時に永続するという、知の淘汰が行われる。簡単な知の機構で、夫々には僅かな知だが、人類の歴史を通じての集積の結果は素晴らしい高度で巨大な知になる。横貫への提案はその利用の一つである。

謝辞

筆者河野は、遠い未来の先を見ることを教えられた恩師故猪瀬博先生、仕事と実践を通じて教育くださった日立製作所の幹部や同僚の方々、共にバグに闘った同志の皆様へ感謝します。Software Creation Projectに参画されたB.H. Far先生を始め埼玉大学学生諸君に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小池伴緒他, 生産性運動50年史(1955-2005), 2005, 社会経済生産性本部。
- 2) Salvendy, G. (eds), Handbook of industrial engineering, John Wiley & Sons, 1982. (訳本) IEハンドブック, 日本能率協会, 1986.
- 3) Chen H., Tsutsumi N., Takano H., Koono Z, Software Creation: An Intelligent CASE Tool Featuring Automatic Design for Structured Programming, The Journal of Institute of Electronics, Information and Communication Engineers -Special Issue on Knowledge-Based Software Engineering-, Vol. E81-D, No.12, pp. 1439- 1449, Dec. 1998.
- 4) Koono, Z., Abolhassani, H. and Chen, H., A new way of automatic design of software (Simulating human intentional activity), New trends in software methodologies, tools and techniques, (Proc. of the fifth SOMET 06), p. 407-420, IOS Press, 2006.
- 5, 6) Koono, Z., Chen, H. and Abolhassani, H., An Introduction to the Quantitative, Rational and Scientific Process of Software Development (Part 1) and (part 2), to be published in the sixth SOMET 06, in 6 - 9 November, 2007 in Rome.
- 7) 赤澤威編, ネアンデルタール人の正体, 朝日選書, 2005. 第10章 言葉の話したか, 内田伸子, p. 257-282.
- 8) 内田伸子, 心理学-心の不思議を解き明かす-, 光生館, 2005.
- 9,10) 河野善彌, 陳慧, 人の設計知識と定量評価(1/2-2/2), 信学技報, Vol. 103, KBSE 2003-57-58, pp. 67-78, (2004・3)
- 11) Cluasewitz, Karl von, Vom Kriege, 1832. 淡徳三郎(訳), 戦争論, 徳間書房, 1965.
- 12) Boehm, B. W., Software engineering economics, Prentice Hall, 1981.
- 13) Thayers, T. A., et al., Software reliability study, Final Technical Report, RADC-TR-76-238, Rome Air Development Center, 1976.
- 14) G.K. Zipf, Human Behavior and the Principle of Least Effort, Hafner Publishing, 1972.
- 15) Rasmussen, J., The role of hierarchical knowledge representation in decision making and system management, IEEE Trans. on Software Engineering, 18, 6, pp. 523-533, 1985.
- 16) 張石峰, 陳慧, B.H. ファー, 河野善彌, 自動設計システムとその特性, 信学技報KBSE98-56, pp. 9-16, 1999. 3.