

「情報と知」研究領域活動・評価報告書

- 平成 13 年度終了研究課題 -

領域統括 安西 祐一郎

1. 研究領域の概要

情報の面から人間の知的活動をサポートする新しい情報処理システムの構築を目指し、ソフトウェアを中心とした基盤的情報科学と先端的情報技術の研究を行う。例えば、分散処理、ネットワーク、アーキテクチャ、知的情報処理、マルチメディア、ヒューマンインタフェース、脳型コンピューティング、計算モデル、アルゴリズムなどに関する基礎研究、あるいは様々な分野への応用などの研究も含む。

2. 研究課題・研究者名

[別紙一覧表参照](#)

3. 選考方針

選考の基本的な考えは下記の通り。

- 1) 選考は「情報と知」領域に設けた選考委員 7 名と領域総括で行う。
- 2) 選考方法は、書類選考、面接選考および総合選考とする。
- 3) 独創的な発想に恵まれ、活力に富み、自ら研究を実施する者を優先する。
- 4) 審査は、書類選考結果、面接選考結果および研究実施の条件等を加味して総合的観点から行う。

4. 選考の経緯

選考	書類選考	面接選考	採用者
対象者数	174人	40人	20人

5. 研究実施期間

平成 10 年 10 月～平成 13 年 9 月

6. 領域の活動状況

領域会議： 9 回

研究報告会： 2 回

領域総括（または技術参事）の研究実施場所訪問： 研究開始に際し全研究者を訪問。その後

研究実施場所を移った際に新研究実施場所を訪問、および、適宜研究者を訪問し、研究進捗を確認。

7. 評価の手続き

領域総括が個人研究者からの報告・自己評価を基に領域アドバイザーの協力を得て行った。また、研究終了時に事業団が開催する一般公開の研究報告会等の参加者の意見を参考とした。

(評価の流れ)

平成13年9月	研究期間終了
平成13年12月	研究報告会を東京国際フォーラムで開催
平成14年1月	研究報告書及び自己評価提出
平成14年2月	領域総括による評価

8. 評価項目

- (イ) 外部発表(論文、口頭発表等)、特許出願、研究を通じた新しい知見の取得等、研究成果の状況
- (ロ) 得られた研究成果の科学技術への貢献

9. 研究結果

昨年の第1期生5名に引き続き、第2期生20名が3年間の研究期間を終えたが、一言で言えば、20名の研究者すべてがこれからの土台となる成果を堅実に生み出し、また、研究者として一回りたくましく成長したと言える。

本来の第2期研究者採用予定枠は、10名の予定であったが、予算措置上倍増できることになり、面接選考において可能な限り多くの候補者に研究内容の説明の機会を設けることができた。その結果、40名の候補者から20名を選出し平成10年10月1日より研究のスタートを切った。20名という数は、領域運営上苦勞はあったが、逆に多くの様々な知見を持つ研究者が集まったことによって活発な意見交換が行われ、また、専門分野の異なる研究者からの基本的でかつ重要なポイントをついた質問やコメントは大変貴重なものとなったと確信している。むろん、各会議において、領域アドバイザーの手厳しくも暖かい質問やコメントは研究者への刺激を与えそれぞれの研究を大きく推進させたと言える。

Computer Science、Information Technology に関する研究領域と一口に言っても、その専門領域は多岐にわたるがおおよその領域と研究者は下記の通りである。これは、採用時になるべく特定の研究領域に集中せず、広い範囲から選ぶこと、研究者の所属機関がなるべく分散することに配慮した結果とも言える。

<u>主たる研究領域</u>	<u>研究者(終了時所属機関)</u>
ヒューマンインタフェース 自然言語 / 言語処理	川嶋稔夫(はこだて未来大学) 一杉裕志(産業技術総合研究所) 乾健太郎(九州工業大学) 千葉滋(東京工業大学) 鳥澤健太郎(北陸先端科学技術大学院大学) 八杉昌宏(京都大学)
プログラミング	浅井健一(東京大学)
コンピュータネットワーク	原田康徳(NTT コミュニケーション科学基礎研究所) 松岡聡(東京工業大学)
アーキテクチャ	松本尚(東京大学)
データベース	黒木進(広島市立大学) 遠山元道(慶應義塾大学)
マルチメディア / 映像	中村裕一(筑波大学)
推論 / 人工知能	松原仁(はこだて未来大学) 山本章博(北海道大学)
脳型コンピューティング / 生体	池田思朗(九州工業大学) 佐藤寛子(国立情報学研究所) 高橋雅治(旭川医科大学) 星野聖(琉球大学)
学習ソフト	楠房子(多摩美術大学)

上記のように領域ごとに分けてみたが、どの研究者も一つの領域に限定できるものではなく、複数の領域にまたがっていると見える。

主な研究領域ごとに言えば、ヒューマンインタフェース分野では、川嶋稔夫は、個人情報個人が経験したエピソードや思考過程が重要と考え、これらに基づく情報を自動的に蓄積し検索するシステムを開発した。研究期間中に新設の大学に移り、研究環境を新たに設置するなどのハンディがあったがよく克服して成果をあげた。

自然言語・言語処理関係の分野では、乾健太郎の情報弱者を支援するためのシステムの開発、千葉滋のプログラミングを部分的に肩代わりする汎用システムの開発などが特に注目される。また、一杉裕志は、プログラミング言語の進歩の速さを向上させるために独創的な研究を通してプログラミング“MixJuice”を開発した。鳥澤健太郎は、計算機を用いた言語構造の自動獲得という困難な問題に挑戦し、主辞駆動句構造文法の利用という極めて正統的方法で、しかも世界的にみて最高速の手法を開発して成果をあげた。八杉昌宏は、本来のC言語を並列処理に適した実装用言語にするため、C言語を改良・拡張することで解決を図り、また、最適化されたコード内での他のプロセッサからの要求と自プロセッサの処理の細粒度多重実行を実現し

た。いずれの成果も評価できるものである。

プログラミング言語の分野では、浅井健一は、計算機を稼動する環境が違うことを想定して、部品評価器を使ってプログラムの効率性を追及し、原田康徳は、ユーザの立場からのプログラムを柔軟に拡張できるようにするためのソフトウェアを開発した。

コンピュータネットワーク分野では、超広域高性能計算は、次世代の新たなインターネットおよびスーパーコンピューティングのインフラとして期待される技術である。松岡聡は、超広域高性能計算の定量性のある基礎的モデルを確立し、その有効性を検討することに大きな成果をあげた。さらに、グリッドの計算資源としての大規模PCクラスタの構築を行い、数理的最適化やゲノム関係のプログラムをグリッド上で稼動させた。これらの技術は世界的なレベルで研究開発を競っている中で、大きな成果をあげている。今後の発展が重要でありまた大いに期待される。

アーキテクチャ分野では、松本尚が、並列分散システムにおいて、システムの持つ処理能力を十分に発揮することを目標として計算資源割り当て方式を構築したが、今後の研究発展ならびに成果の汎用性が期待できる。

データベース分野では、20世紀主流である関係データベースに取って代わろうとの意気込みで、遠山元道は、Trinity データモデルの開発に成果をあげ、今後の発展が大いに期待できる。黒木進は、時間経過とともに位置や形が変化する図形をデータベース化することに成果をあげた。

マルチメディア/映像の分野では、中村裕一は、映像や映像を基にしたマルチメディアコンテンツを誰でもが手軽に使える手段にすべく総合システムを開発し、世界で初めて実時間で動作させたことは高く評価できる。

推論/人工知能の分野では、松原仁は、将棋のプロ棋士の(将棋の)中盤における候補手を選び出す過程を分析して、そのプロセスをモデル化した。また、山本章博はWWW上に大量に分散する利用可能な知識を利用し、また必要な知識がない場合には、それを新たな仮説として、目標問題を解くような新たな形の推論システムを構築したことは評価できる。

脳型コンピューティング/生体の分野では、池田思朗は、理論的研究としてのEMアルゴリズムの加速性を数理的に研究して成果をあげた。また、工学的な応用研究として、独立性分解(ICA)を研究して、音声認識、生体計測データ(特に脳磁計データ)に適用する成果をあげた。佐藤寛子は、化学反応を汎用的に分類するための表現の方法の開発、分子の立体的構造をコンピュータに理解しやすい方法で表現するコード化法の開発と核磁気共鳴スペクトルの予測への応用などに大きな成果をあげた。高橋雅治は、「人間がある瞬間にどの音を聞いているか」を行動科学的に測定する新しい技術を開発し、認知科学、認知行動科学に新風を吹き込んだ。星野聖は、人間の身体運動のメカニズムを研究し、中枢神経がどのような評価関数によって運動指令の生成を行っているかを解明する成果をあげ、同時に情報科学、情報工学における極めて大きな貢献をしたと評価できる。

最後に学習ソフトの分野では、楠房子は学校教育におけるコンピュータ利用という重要な課題に取り組み、特に、子供たちがグループ学習を能動的に行えるための新しいシステムを開発して実際に小学校に導入して大きな成果をあげた。

10. 評価者

領域総括：安西 祐一郎 慶應義塾長

領域アドバイザー氏名（肩書きは現職）

久間 和生 三菱電機(株) 先端技術総合研究所 システム技術部門 部門統括
 後藤 滋樹 早稲田大学理工学部 情報科学 教授
 田中 譲 北海道大学工学部 電子情報工学専攻 教授
 西尾 章治郎 大阪大学大学院情報科学研究科 マルチメディア工学専攻 教授
 橋田 浩一 産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター
 副研究センター長
 松山 隆司 京都大学大学院工学研究科 知能情報学専攻 教授
 米澤 明憲 東京大学大学院情報理工学系研究科 コンピュータ科学専攻 教授

（参考）

（1）外部発表件数

	国内	国際	計
論文	34	28	62
口頭	178	75	253
その他	13	5	18
合計	225	108	333

（2）特許出願件数：国内出願 国際出願

11

2

（3）受賞等：

- ・日本神経回路学会研究賞 1999
- ・日本神経回路論文賞 2001
- ・人工知能学会研究奨励賞 2000
- ・第2回消費者教育教材資料表彰優秀賞「こどもサントリー」2000

- ・ 情報処理学会インタラクティブ発表賞 2000
- ・ 有機合成化学協会第一製薬研究企画賞 1999
- ・ 第 35 回科学技術情報振興賞・論文賞 2000
- ・ 第 23 回情報化学討論会ポスター賞 2000
- ・ 日本化学会 B C S J 賞 2001
- ・ 第 27 回反応と合成のシンポジウムポスター賞 2001
- ・ Computerworld Honors Award Education & Acamedia category 2002
- ・ 平成 13 年度坂井記念特別賞

(4) 招待講演

国際	:	6
国内	:	12

(5) 研究者の流動状況

応募時から所属機関を移った研究者 (20 名中) : 11 名

「情報と知」領域 研究課題名および研究者氏名

研究者氏名 (参加形態)	研究課題名 (研究実施場所)	現職 (応募時所属)	研究費* (百万円)
浅井 健一 (兼任)	開かれた環境における実行時プログラム変換 (東京大学大学院理学系研究科)	お茶の水女子大学理学部助教授 (東京大学大学院理学研究科 助手)	8
池田 思朗 (兼任)	EM アルゴリズムの数理的研究及びその工学的応用 (九州工業大学大学院生命体工学研究科)	九州工業大学大学院生命体工学研究科 助教授 (理化学研究所脳科学総合研究センター研究員)	23
一杉 裕志 (兼任)	プログラミング言語処理系の部品化 (産業技術総合研究所)	産業技術総合研究所情報処理部門 主任研究官 (電子技術総合研究所 主任研究官)	30
乾 健太郎 (兼任)	聴覚障害・言語障害を持つ読者のためのテキスト簡単化技術に関する研究 (九州工業大学)	奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 助教授 (九州工業大学情報工学部 助教授)	37
川嶋 稔夫 (兼任)	知の個人空間における履歴情報蓄積・管理・検索に関する研究 (はこだて未来大学)	はこだて未来大学システム情報科学部 教授 (北海道大学大学院工学研究科 助教授)	40
楠 房子 (兼任)	ユーザの視点を取り入れた学習ソフトデザインの研究 (多摩美術大学)	多摩美術大学美術学部 助教授 (同上 講師)	38
黒木 進 (兼任)	位相空間データベースの時空間データへの応用 (広島市立大学)	広島市立大学情報科学部 助教授 (九州大学大学院システム情報科学研究科 助手)	14
佐藤 寛子 (兼任)	化学反応のニューラルモデル化による定量的反応予測の実現 (国立情報学研究所)	国立情報学研究所 助教授 (理化学研究所有機合成化学研究室 研究員)	36

研究者氏名 (参加形態)	研究課題名 (研究実施場所)	現職 (応募時所属)	研究費* (百万円)
高橋 雅治 (兼任)	選択的聴取を行動的に測定する装置の開発 (旭川医科大学)	旭川医科大学 教授 (北海道大学文学部 助手)	63
千葉 滋 (兼任)	ドメイン指向のソフトウェア開発環境 (東京工業大学大学院情報処理工学研究科)	東京工業大学大学院情報工学研究科 講師 (筑波大学電子・情報工学系講師)	37
遠山 元道 (兼任)	次世代応用指向データモデルの開発 (慶応義塾大学理工学部)	慶応義塾大学理工学部 講師 (同上)	41
鳥澤 健太郎 (兼任)	主辞駆動句構造文法を用いた言語獲得モデル (北陸先端科学技術大学院大学)	北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科 助教授 (東京大学大学院理学系研究科 助手)	36
中村 裕一 (兼任)	人物行動をつたえるための知的映像撮影と編集 (筑波大学機能工学系)	筑波大学機能工学系 助教授 (同大学電子・情報工学系講師)	47
原田 康德 (兼任)	Visibility Programming の研究 (日本電信電話(株)コミュニケーション科 学基礎研究所)	日本電信電話(株)コミュニケーション科学基礎研究所 主任研究員 (日本電信電話(株)基礎研究所 主任研究員)	32
星野 聖 (兼任)	新しい舞踊の創造のために脳で採択される評価関数の検討 (琉球大学工学部)	琉球大学工学部 助教授 (同上)	63
松岡 聡 (兼任)	超広域高性能計算環境の基礎的研究 (東京工業大学学術国際情報センター)	東京工業大学学術国際情報センター 教授 (同大学院情報理工学研究科助教授)	102
松原 仁 (兼任)	エキスパートの情報処理モデルの構築 (はこだて未来大学システム情報科学部)	はこだて未来大学システム情報科学部 教授 (電子技術総合研究所知能情報部 主任研究官)	38

研究者氏名 (参加形態)	研究課題名 (研究実施場所)	現職 (応募時所属)	研究費* (百万円)
松本 尚 (兼任)	自立最適化を支援する資源割り当て方式の研究 (東京大学大学院理学系研究科)	国立情報学研究所 助教授 (東京大学大学院理学系研究科 助手)	67
八杉 昌宏 (兼任)	近未来の並列処理に適した実装用言語 (京都大学大学院情報学研究科)	京都大学大学院情報学研究科 講師 (同上)	39
山本 章博 (兼任)	WWW上を仮説探索する推論システムの構築 (北海道大学大学院工学研究科)	北海道大学大学院工学研究科 助教授 (同上)	36

*：研究費には研究者の person 費は含まず。

研究課題別研究評価

1. 研究課題名：開かれた環境における実行時プログラム変換

2. 研究者名：浅井 健一

3. 研究のねらい

プログラムの実行環境があらかじめわかっておらず、動的に変化するような環境（開かれた環境）において、プログラムの効率化（プログラム変換）を、実行環境がわかった時点で動的（実行時）に行うにはどうすれば良いのかを研究する。

4. 研究結果及び自己評価

研究結果

- (1) 従来の offline の部分評価手法を拡張し「効率的に部分評価が可能」という性質を損なうことなく部分評価能力を向上した。 具体的には、部分評価が「可能」と「不可能」という2種類の分類に加えて、「可能だがしなくても良い」という第3の分類を加えることで、不必要に部分評価不可能と判定されるケースを減らすことに成功した。（1年目）
- (2) offline の部分評価を拡張するというアプローチでは、開かれた環境における部分評価を十分に行うのは難しいことを確認した。具体的には、開かれた環境のような一般的な場合には、その解析の複雑度がプログラム自体を実行するのと同じになってしまうことがわかった。（2年目）
- (3) online の部分評価器をインタプリタ環境に融合し、動的に変化する環境におけるその場での部分評価を実現した。 その際、重要だった点は、副作用の影響、特に部分評価後の副作用が部分評価結果を無効にしてしまう可能性があること、および、ヒープデータの複製を避けるため部分評価結果に直接、ヒープへのポインタを許すようにしたことこの2点である。（3年目）
- (4) 応用プログラムとしてレイトレーシングのプログラムを実装し、実行時に部分評価することで約10%から2倍程度の速度向上が得られることを確認した。（3年目）

自己評価

- (1) 1年目の成果はそれまでやってきていた研究の延長で、ある程度、予想のつくものであった。しかし、ここでの経験がその後の研究をする上で役に立っているので、意味はあったと思っている。
- (2) 2年目の成果は結果が否定的なものであったため、そのままでは成果とは言いにくいものとなった。ここでの経験自体は将来、生かせるだろうと思うものの、技術的に直接つながる形で生かすのは難しいと思っている。現段階ではまだ、可能なアプローチの候補が思いつくようになった、という程度である。
- (3) 3年目の成果は、得られた知見は簡潔なものであったが、これなくしてはその先に進むのが難しいため、きちんと述べられたことは意味があったと思っている。また、できあがったシステムは、いくつかの注意点があるものの、わかりやすいものになっており、今後、コンパイラの強力な最適化などに役に立っていくだろうという見通しを持っている。また、逆にいろいろな

課題も新たに見えるようになってきており、さらに今後、研究を進めていきたいと思っている。

- (4) 当初、目標にした自己反映言語のコンパイルには3年間では到達しなかった。しかし、核になる部分は3年間の研究でほぼできあがっており、ひとつ残っていた技術的課題も解決する見通しで、遠くない将来、実現するだろうと思っている。
- (5) 総じて、画期的にうまく研究が進んだ、とは思わないが、最低限のところはクリアし、ここでの研究をもとに、この先の道がいくつも見えるようになってきた。自分に投資し、この先の足掛かりを築いた、という意味では有意義な3年間だったと思う。

5. 領域総括の見解

インターネットの普及につれて、データばかりでなくプログラム自体もインターネット上を移動して実行させるようになってきている。プログラムが実行される場所は実行環境が異なることが当然考えられ、違った環境下でいかにプログラムを効率化すべきかについて部分評価という手法を駆使して地道に研究を重ねて成果を得たことは評価できる。

6. 主な論文等

- (1) Kenichi Asai "Binding-Time Analysis for Both Static and Dynamic Expressions," Static Analysis (LNCS 1694), pp. 117-133 (September 1999).
- (2) 浅井 健一 「静的かつ動的な式を許すような部分評価器のための束縛時解析」コンピュータソフトウェア, Vol. 17, No. 3, pp. 20-37 (May 2000).
- (3) * Kenichi Asai "Integrating Partial Evaluators into Interpreters," Semantics, Applications, and Implementation of Program Generation (LNCS 2196), pp. 126-145 (September 2001).
- (4) * Kenichi Asai "Binding-Time Analysis for Both Static and Dynamic Expressions," New Generation Computing, Vol. 20, No. 1, pp. 27 51 (January 2002).

研究課題別研究評価

1. 研究課題名： EM アルゴリズムの数理的研究及びその工学的応用

2. 研究者名： 池田 思朗

3. 研究のねらい

近年、IT 技術の革新によって、膨大なデータを高速に処理できるようになっている。この処理能力によって膨大なデータに対し、以前ならば実現できなかった統計的処理が可能となった。音声認識や画像処理などでは、データの特徴を統計的処理によって機械が自動的に発見することは、工学的に非常に有益である。

このような統計手法による特徴抽出は古くから統計学において研究されてきた。統計学において理論的に導かれたアルゴリズムのなかには、しかしながら実際には用いられていないものが多い。これは理論自体の難解さと、現実の問題は理想的な状況ではなく、理論がそのままでは適用できない事実とからなる。本研究では、統計的な学習法の理論的な研究を行うとともに、統計的な学習アルゴリズムを現実の応用まで結びつける具体的な手法の提案を行った。

4. 研究結果及び自己評価：

研究結果：

本研究は 2 つの柱から成る。ひとつは理論的な研究であり、繰り返し推定法の数理的研究としてまとめることができる。もうひとつの研究の柱は、工学的応用を目指した研究であり、独立成分解析(以下 ICA)の工学的応用研究である。

理論的研究

1. 本研究では再帰的に EM アルゴリズムを用いることで、簡単に EM アルゴリズムを加速できることを示した。
2. EM アルゴリズムと類似した Wake-Sleep アルゴリズムという学習法が提案されていたが、収束性については理論的には明らかではなかった。このアルゴリズムに対して、情報幾何学を用いることで、一般的には収束しないことを示した。
3. 統計力学における平均場近似に対する新たな計算法を提案した。
4. 誤り訂正符号として、近年注目されているターボ符号に対し情報幾何に基づく解析を行った。この解析は、限界に近いと呼ばれるターボ符号の誤り訂正能力をさらに向上させる可能性を示唆している。

工学的応用研究

1. 音声の実時間分離を可能とするアルゴリズムを開発し、音声認識に適用した。
2. 生体計測データ、特に脳磁計データへの適用を行なった。

自己評価：

理論的研究

EM アルゴリズムの研究を中心として、理論的な研究を行ったが、この3年間で十分な成果を挙げることができた。EM アルゴリズムの加速法は今まで知られていた加速法とは異なり、乱数発生法を組み合わせた手法であり、高速な計算能力によって、これから応用の広がっていく手法である。

一方で、Wake-Sleep アルゴリズムや平均場近似法の解析を通じ、既存の手法の性質を明らかにし、改善手法を提案してきた。このときに用いたのは、情報幾何学と呼ばれる新たな分野による解析手法である。情報幾何学は確率分布の多様体に対して微分幾何学的な手法を組み合わせることによって、統計的推定や検定の性質を明らかにしようというものである。情報幾何学自体が確率・統計学と微分幾何学を結びつけた学問であるように、この学問によって様々な分野を結びつけることができる。本研究で行った平均場近似法は統計物理学の手法であり、また誤り訂正符号は符号理論の手法である。これらを統一的に情報幾何学で解析する試みは学問的に独創的であり、これからの学問、科学技術の発展のために有益である。

工学的応用研究

ICA を中心とした工学的応用では、音声分離アルゴリズムと生体計測データの解析手法を開発した。ICA は 80 年代後半に提案された手法であり、歴史は浅いがこれからの発展を期待される多次元データ解析手法である。しかし、オリジナルの問題設定は理想的な状況を考えており、実際に用いるためには、現実の問題にあわせてアルゴリズムを改良し、適用する必要がある。本研究で行った 2 つの応用では、それぞれ、今までの ICA の研究では適切に扱われていなかった問題点を解決し、適用をおこなった。音声分離においては、分離された信号がどの信号源からのものかという、並び替えの問題を解決し、実時間音声分離アルゴリズムを提案した。生体計測データ解析では、センサーノイズの問題を解決し、脳磁計 (MEG) データの解析手法を提案した。双方ともに工学的に有効な手法であり、これ以後のさらなる研究を通じて製品化も可能なものであると考える。

5 . 領域総括の見解：

神経回路網モデルの中の隠れた変数(隠れ層)に着目し、理論的研究として統計的手法である EM アルゴリズムを再帰的に用いることでこのアルゴリズムを加速できることを示し、繰り返し推定の数理解的研究としての成果をあげたことは高く評価できる。また、その工学的な応用研究としては、統計的多次元処理の手法である独立成分解析(ICA)に挑戦して、音声の実時間分離を可能とするアルゴリズムを開発して音声認識に適用した。同時に生体計測データ、特に脳磁計データへの適用にも成果をあげたことも十分に評価できる。

さきがけ研究の期間中は積極的に外部発表を行い、世界的な研究者とも議論を重ねて、得た知見等を貪欲に自分の研究の糧とする積極的な姿勢が感じられた。さきがけ研究の終了後も今後の研究目標がはっきりしており、今後の研究発展に大きい期待をしたい。

6 . 主な論文等：

- (1) 池田思朗. 再帰的学習による EM アルゴリズムの加速. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, No.12, pp. 2819--2827, December 1998.
- (2) *池田思朗, 田中利幸, 甘利俊一. ターボ符号と Gallager 符号の情報幾何. 電子情報通信学

会技術研究報告, 第 IT2001-26 巻, pp. 7--12, 大阪電気通信大学, July 2001.

- (3) Noboru Murata, Shiro Ikeda, and Andreas Ziehe. An approach to blind source separation based on temporal structure of speech signals. Neurocomputing, Vol.41, No. 1-4, pp. 1--24, August 2001.
- (4) 池田思朗. 独立成分解析の信号処理への応用. 計測自動制御学会「計測と制御」, Vol.38, No.7, pp. 461--467, July 1999.
- (5) * Shiro Ikeda and Keisuke Toyama. Independent component analysis for noisy data --MEG data analysis. Neural Networks, Vol.13, No.10, pp. 1063--1074, December 2000.

特許

池田思朗、梶原茂樹、外山敬介 生体信号計測装置 特開 2001-120511 号、October 1999

受賞

- ・日本神経回路学会研究賞 (1999 年)
- ・日本神経回路学会論文賞 (2001 年)

研究課題別研究評価

1 研究課題名： プログラミング言語処理系の部品化

2 研究者名： 一杉裕志

3 研究のねらい：

本研究は、プログラミング言語処理系を部品化することにより、いままで進歩の遅かったプログラミング言語の進歩速度を、飛躍的に向上させることを目的とする。部品化により、部品単位での言語機能の研究開発を容易にすると同時に、自由競争の原理による言語機能の性能向上・多様化を図る。

4 研究結果及び自己評価：

研究結果

本研究では、プログラミング言語 MixJuice を開発した。この言語は、それ自身が「部品化された言語処理系」と同時に、「部品化された言語処理系」を構築するための記述言語でもある。この言語は以下の特徴を持つ。

1) 「差分ベースモジュール」と呼ぶ機構を有する。これは「オリジナルのプログラム」と「拡張されたプログラム」の間の差分をモジュールとして扱う機構である。この機構により、従来のオブジェクト指向言語のモジュール機構よりも、プログラムの再利用性・拡張性・保守性を高めることができる。

2) モジュールは、名前空間の単位でもある。この機構により従来の Java などの言語が持つ nested class を不要にし、言語仕様をシンプルにした。また、従来よりも柔軟な名前空間の制御が可能のため、大規模プログラムにおける「名前空間の汚染」を非常に低く抑えることが可能である。

3) 多重継承に伴う名前の衝突の問題を、メソッド・フィールドに完全限定名を導入することで解決した。これにより複数のモジュールを安全に組み合わせることができる。

4) 複数のモジュールを組み合わせたときに生じる「実装欠損」という現象を発見し、これに対する言語サポートとして補完モジュールの自動ロード機構を提供した。

5) MixJuice の言語処理系は、それ自身が拡張可能な構造を有している。実際に、コレクション型、シンボル型、アサート構文、マクロ定義構文などの言語拡張モジュールが動作している。

6) 言語処理系はオープンソースで公開されている。また、実際に2万行以上のアプリケーションが動作している。

自己評価

1) 当初の目的では、「部品化された言語処理系」の記述言語を作った後、それを用いて構文解析、意味解析、コード生成、実行時系のすべてを部品化する予定だったが、実際には記述言語がかなり有望なテーマになってきたため、記述言語 MixJuice の設計・実装に3年間専念した。この方向は悪くなかったと思う。

2) MixJuice の特徴は「差分ベースモジュール」にある。現在のオブジェクト指向言語の問題点は多くの研究者によって指摘されているが、あまり良い解決策は示されていない。差分ベースモジュールは従来の問題点を解決する上に、構文や概念を整理することによって、言語仕様をかえって従来よりもシンプルにすることに成功した。MixJuice の言語仕様については、プログラマーとしての自分がほぼ満足できるまでに洗練することができた。しかし、査読論文は現在のところ小論文1本のみであり、客観

的な評価を得ているわけではない。(国際会議に1本投稿中。)

3) 論文数よりも「実際に使われるソフトウェア」を目指していたが、現在のところ全く達成されていない。プログラミング言語(とくにスクリプト言語ではない言語)は普及に時間がかかるが、それにしても予想をはるかに下回る反響であり、残念である。しかし反響は好意的なものが多い。今後1~2年以内に世間に認知させることで、さきがけでの研究成果が価値のあるものであったことを証明したい。

5 領域総括の見解:

プログラミング言語については進歩の速さを向上させる必要があるが、現実には、多くのプログラム言語がそれぞれ巨大な1枚岩のため融通が利かずその進歩の障害となっている。このような環境を打破することを研究目標に掲げて独創的な研究を行い、プログラミング“MixJuice”を開発した成果は評価できる。この言語は、「部品化された言語処理系」であると同時に、プログラミング言語を構築するための記述言語でもある。

6 主な論文等:

雑誌論文

(1) 一杉裕志:

* 「シンプルかつ強力なモジュール機構を有するオブジェクト指向言語 MixJuice の提案」
コンピュータソフトウェア, Vol.18, No.6(2001), pp.54-58.

その他論文・口頭発表

(1) 一杉裕志:

“シンプルかつ強力なモジュール機構を有するオブジェクト指向言語 MixJuice の提案”,
ソフトウェア科学会第17回大会, Sep. 2000.

(2) Yuuji ICHISUGI:

“MixJuice: An object-oriented language with simple and powerful module mechanism”,
extended abstract of OOPSLA2000 poster session, Oct 2000.

(3) 一杉裕志、田中哲:

* “差分ベースモジュール: クラス独立なモジュール機構”,
産業技術総合研究所テクニカルレポート AIST01-J00002-1, Dec. 2001.

(4) Yuuji Ichisugi, Akira Tanaka

“Difference-Based Modules: A Class-Independent Module Mechanism”
(ECOOP2002 European Conference on Object-Oriented Programming に投稿中)

(5) 田中哲、一杉裕志:

“プログラミング言語 MixJuice による HTTP server のモジュール化”,
ソフトウェア科学会第18回大会, Sep. 2001.

公開ソフトウェア URL

"The programming language MixJuice"

<http://staff.aist.go.jp/y-ichisugi/mj/>

研究課題別研究評価

1. 研究課題名： 聴覚障害・言語障害を持つ読者のためのテキスト簡単化技術に関する研究

2. 研究者名： 乾健太郎

3. 研究のねらい

聴覚障害や言語障害のためにテキストの読解能力が十分でない読者を対象とする読解支援を目的として、その要素技術となるテキスト簡単化技術に関する基礎的研究を行う。テキスト簡単化技術とは、一般のテキストを構文的・語彙的に言い換えて、より平易なテキストに変換する技術である。テキスト簡単化という事例研究を通して言い換えのメカニズムに対する理解を深めるとともに、言い換えによる福祉的コミュニケーション支援という自然言語処理技術の新しいアプリケーション領域を開拓する。

4. 研究結果及び自己評価

研究結果

- (1) 言い換え知識が効率的に開発・管理できる言い換え方式を提案し、それに基づいて大規模な言い換え生成実験の実施と言い換え事例の蓄積を効率的に行える環境を整備した。本システムは言語生成技術のプロトタイピングに有用な汎用性を備えており、すでに2, 3の研究者が言語生成実験への利用を検討している。
- (2) (1)の言い換え方式に基づいて言い換える種類ごとにそれぞれ事例研究を行い、実験を通じて言い換えの問題の性質を部分的に明らかにした。また、異なる種類の言い換えに横断的に利用できる知識があることを明らかにし、応用横断的な言い換え知識の部品化・規格化を実現できる見通しを得た。
- (3) 聾学校教諭を対象に文の可読性に関する大規模なアンケート調査を実施し、回答データから聾者にとっての文の可読性を評価する計算モデルを構築できることを示した。
- (4) 読解支援プロトタイプシステムを作成し、「テキスト簡単化による読解支援」のイメージを具現化した。

自己評価

自然言語の言い換えは、言語の理解と生成の両方の側面を持つ複雑な問題であり、もとより3年間で実用レベルの実現に到達できるとは考えていなかった。そうした認識のもと、本研究期間で何とか達成したいと考えていた目標は、技術的には、可能なかぎり多くの言い換え事例にまみれることによって言い換えの問題の構造を解明し、個々の部分問題へのアプローチの仕方を確立すること、そして社会的には、聾者や失語症患者、その支援者らとコミュニケーション支援技術開発の人的ネットワークを育てることであった。

- (1) 前者については、まずは、最終的に現在の言い換えエンジン Kura の開発にたどり着けたことが重要な成果と考えている。また Kura あるいはその前世代のシステムを利用して数多くの言い換え生成実験を実施し、大量の言い換え事例を実際に自分の目で観察したことによって、少なくとも

も「事例にまみれる」という目標は達成できた。本研究の成果は、あるいは、脈絡のない個別的な試みの寄せ集めのように見えるかもしれない。しかし、言い換え技術の着実な進歩は、少なくとも初期の段階では、こうした個別の事例と格闘する努力なしにはあり得ないと私は信じている。今後は、実験を通して得られた、あるいは得られつつある知見や知識・事例の蓄積を他の研究者と共有する仕組みを早急に構築する必要があるだろう。また、個別の部分問題に対して必要に見えた個別的知識が、実は異なる種類の言い換えにおいて共通に利用できる場合が少なくないことが実験からわかってきた。こうした応用横断的に再利用可能な言い換え知識の部品化・規格化を進め、その大規模化をはかる手段を確立していく必要がある。

- (2) 後者の人的ネットワークの構築については、福岡県内の聾学校、聴覚障害者センター、手話サークルなどの多くの関係者、また特殊教育分野の研究者ら、言語療法分野の専門家ら、実に多くの方々と本研究を通して交流を持つことができた。福祉的コミュニケーション支援技術は今後じっくりと腰を据えて取り組むべき課題であり、こうした関係分野各位との交流は今後の重要な財産になると確信している。

5. 領域総括の見解：

計算機ネットワークの普及・向上と電子化テキストの急速な増加により、多くの人々が簡単に大量の情報を利用できる環境になったが、一方聴覚障害や視覚障害といった障害によってこの恩恵を享受できない弱者がいることも事実である。乾健太郎は、こうした弱者に対する情報の利便性を追求することを研究し、成果をあげたことは高く評価できると同時に今後の研究の発展が社会的に貢献することを期待する。

6. 主な論文等：

- (1) - 乾健太郎．読解支援を目的とするテキスト簡単化の実現に向けて 課題と方法論 ．電子情報通信学会思考と言語研究会，TL2001-8，2001．
- (2) - Inui Kentaro and Nogami Masaru. A paraphrase-based exploration of cohesiveness criteria. The 8th European Workshop on Natural Language Generation, 2001.
- (3) - *Inui Kentaro and Yamamoto Satomi. Corpus-based acquisition of sentence readability ranking models for deaf people. The 6th Natural Language Processing Pacific Rim Symposium, 2001.
- (4) - 乾孝司，乾健太郎．複数のパーザを利用した統計的部分係り受け解析．情報処理学会論文誌，Vol. 42，No. 12，2001．
- (5) - *Takahashi Tetsuro, Iwakura Tomoya, Iida Ryu, Fujita Atsushi and Inui Kentaro. Kura: A transfer-based lexico-structural paraphrasing engine. NLPRS2001 Workshop on Automatic Paraphrasing: Theories and Applications, 2001.

受賞

- ・人工知能学会 2000 年研究奨励賞 「言語コーパスにおける感情生起要因と感情クラスの注意づけ」

研究課題別研究評価

1 研究課題名：知の個人空間における履歴情報の蓄積・管理・検索に関する研究

2 研究者：川嶋稔夫

3 研究のねらい：

本研究では知的活動支援のために、個人に関連する情報を自動的に蓄積して、ユーザが利用するための情報システムをつぎの 2 つの立場から考えた。(1) 個人が日常生活のなかで視覚によって経験した膨大なエピソード映像を、同時に頭部につけたカメラを通じて撮影、記録し、編集、管理する方法。(2) 机上での文書に関わる個人の行動と文書の内容を自動的に記録、蓄積、検索する方法。

4 研究結果および自己評価：

研究結果：

1 個人の体験を映像として記録し利用すること

個人が日常生活のなかで視覚によって経験した膨大なエピソード映像を、同時に頭部につけたカメラを通じて撮影、記録し、編集、管理する方法について研究を行った。達成できたことは、ユーザに装着したヘッドマウントドカメラ(HMC)の映像を実時間で特徴分析し、データベースに行動、対象、背景に蓄積し、ブラウズするためのシステムを構築したことである。この実現のために(1)映像に基づいて背景の場所を推定し、(2)HMC を装着した人の行動パターンを自動的にセグメント化し、(3)シーン中の動作映像をとりだす方法も学会等で報告した。一方、達成できなかったことは動作のロバスト性である。コンピュータビジョンシステムを日常生活に持ち込む場合、屋内外の明るさの変化とカメラのダイナミックレンジなどの根本的な問題が残されており、朝夕などや、照明の低い廊下などでの誤動作は未解決である。

2 机の上で利用した文書とそれに関わる行動を記録して利用すること

思考の場としての机を選び、机上での文書に関わる個人の行動と、文書の内容を自動的に記録、蓄積、検索することで、知的活動の支援を行うシステムの設計を目指した。達成できたことは、机の上での動作をモニタリングして、自動的に新規文書を蓄積する装置の開発である。文書を分析して、過去の文書記録から検索し、関連文書を表示する機能は実現できた。文書等のゆがみの補正なども実現した。一方、達成できなかったことは、蓄積文書を有効に活用できるだけのシステムの形態を示せなかった点である。

自己評価：

本研究では、日常の生活と、机の前での文書に関わる作業を映像として記録し、自動的に視野に映る重要なものを記録していくという実験環境を実現した。個人の記録は他人にとって大きな意味を持たないものがほとんどである。したがって、共有されるべき情報と異なってユーザ負担の少ないコンテンツ化が重要で、その蓄積や分析の自動化は不可欠である。この意味において、本研究は新しい方向性を示せたものと考えている。

(1)計画の達成度：個人の日常生活の記録情報を蓄積し、後刻利用するシステムの実現例を示してみせることができた。長期間の評価実験による評価実験は年限内に終了できなかった。

(2)情報科学への貢献：使用形態と実現のための要素技術を設計することが研究の中心となってしまった。要素技術による情報科学への貢献も必要ではあるが、人のエピソードを記録するしくみや、映

像表現の持つ効果との関連をあきらかにして、新しい情報科学の方向性を示すべきであったと反省している。

5 領域総括の見解：

コンピュータの高性能、低価格化とインターネットの普及により、多くの情報を世界的に共有できる環境が整いつつある。このような大規模な知の蓄積が実現しつつある一方で、個人的な情報については、全てを整理して記録し、検索することは現在でも難しいことである。個人情報のかかなりの部分は、体系的に保持されておらず、経験やエピソード、思考内容など個人の活動に関するものが重要な位置を占めている。川嶋稔夫は、知的活動支援のためにその履歴を利用すべきものとして、個人が経験したエピソード、もう一つは、思考過程であると考え、これらに基づく情報を自動的に蓄積し検索するシステムを開発したことは評価できる。

6 主な論文等

- Toda, Yamaguchi, Kawashima, Aoki: Live Image handling for Computer Assisted Presentation, Proceedings on Vision Interface 98, pp. 141-148, (1998)
- Iijima, Ishigami, Kawashima, Aoki, Personal History Management by Monitoring Action in Everyday Life, Proceedings of International Workshop on Soft Computing in Industry 99, pp. 383-388,(1999)
- 石上、飯島、川嶋、青木：日常生活空間における視点映像の階層的セグメンテーション、電子情報通信学会技術報告、PRMU99-124、pp.165-172,(1999)
- *Kawashima, Nakagawa, Miyazaki, Aoki: Desktop Scene Analysis for Document Management System, International Workshop on Document Analysis and Understanding for Document Databases , pp. 544-548, (1999)
- 川嶋：ウェアラブルな視覚情報メディアによるエピソード記憶の支援、平成 11 年度電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集、(1999)
- *川嶋:記憶想起支援とウェアラブルコンピュータ、第 5 回知能情報メディアシンポジウム、pp.107-110,(1999)
- 石上、飯島、川嶋、青木：エピソード映像の時空間的階層提示による記憶想起、電子情報通信学会技術報告、PRMU98-186、pp.75-82,(1999)
- 飯島、石上、川嶋、青木、日常生活のモニタリングによる行為履歴の記録、電子情報通信学会技術報告、PRMU98-187、pp.83-90,(1999)
- 戸田、中川、川嶋、青木: 能動視覚を用いたプレゼンテーション支援のための適応的画像取得、電子情報通信学会論文誌 D-II, J82-DII, 1 , pp. 19-28, (1999)
- 長崎、飯島、川嶋、守田：日常生活映像からのエピソード映像の要約、2000 年度電子情報通信学会情報システムソサイエティ大会パネル討論、(2000)
- 伊福部、川嶋、画像をあやつる一仮想現実感とその応用、電子情報通信学会誌、83-9、670-674、(2000)
- *中田、長崎、川嶋、青木：局所的濃度値不変量に基づく視点映像からの背景の推定、第 6 回知能情報メディアシンポジウム、pp.41-45,(2000)
- 宮崎、長崎、川嶋、青木、紙の変形を考慮した机上文書のハンドリング、電子情報通信学会技術報告、PRMU-180、143-148,(2001)

- Nagasaki, Toda, Iijima, Kawashima: Extracting Personal Behavior Based on Snapshot Sequence, International Symposium: Toward a Development of KANSEI Technology, (2001)
- Kawashima, Nagasaki, Toda, Morita, Information Summary Mechanism for Episode Recording to Support Human Activity, Proc. Int. Workshop on Pattern Recognition and Understanding, pp.49-56, Invited, (2002)

研究課題別研究評価

1. 研究課題名： ユーザの視点を取り入れた学習ソフトの研究

2. 研究者： 楠房子

3. 研究者のねらい

インターネットを用いたのグループ学習の支援システムを開発するには、教室での集合学習でのコンピュータ利用での分析が不可欠であり、さらに、分析単位を反応・動作のレベルではなく、学習者の継続的活動のレベルにおくことが必要である。本研究では、学習者間の相互作用や議論を通して学び合う過程を支援する、すなわち 学習者が中心となり、自らが学習（プロセスおよびシステム）をデザインできる（learner-centered design ）ことが必要だという考え方に立ち、研究を進める。本研究では、このような考え方を基に開発者が決めたコンテンツ（学校のカリキュラムの部分集合）と、実際に使うユーザである学習者や現場の先生にニーズとかけはなれたものにならないよう、ユーザである学習者の視点を取り入れたシステムを構築し、学校教育の現場で実践を行うことに取り組む。

4. 研究結果及び自己評価

研究結果

（研究の課題と目的）本研究では、各学習者が積極的に参加し、自分の意見の外化を出来るよう支援するための方法として、複数の学習者が face-to-face で環境問題を学習するためのシステムを構築した。このシステムは、学校教育の現場での活用を念頭に置き、以下の点を重視している。

- ・授業を通して得た知識をすぐに現実世界で活用できれば、学習した知識の意味が容易に理解され、学習への動機付けを高めることができる。
- ・学習者自身の知識を基に働きかける物理世界を他の学習者と共有できれば、他者からのフィードバックを通して互いに学びあうことが可能になる。
- ・キーボードやマウスを介した操作ではなく、物理世界への直観的かつ直接的な働きかけを可能にすることにより、コンピュータの操作の得手不得手に依らず、誰もが容易に参加できる環境を実現できる。
- ・ゲーム的な感覚を加味することにより、楽しみながら、かつ本物性のある問題に取り組むことができる。

システムアプリケーションは、以下の2つを中心に開発・実験を行った。

（環境問題ボードゲーム）本システムはボードゲームとそれに接続されたパーソナルコンピュータから成る。パーソナルコンピュータ上のソフトウェアは、シミュレーションモジュールを始め、3種類のモジュールから構成される。ボードゲームは、ボードとコマから成る。コマは、自然を表す木、産業を表す工場、人口を表す家の3種類を用意した。ボードに置いたコマの位置、情報は、各自の思考の外化であり、また他者の思考の結果として互いに共有される。ボードとコンピュータシミュレーションは連携しており、コマの下部に取りつけられたRFIDタグとアンテナが通信を行い、コマの配置情報を基にコンピュータシミュレーションが行われる。それにより、物理的な街だけでは直観的には捉えられない情報（大気汚染や水質汚染など）が可視化される。学習者が外化した知識やアイデアはシミュレーションによりその場でフィードバックされるので、さらなる知識やアイデアの外化を促すことが可能になる。本システムには、複数のシミュレーションおよび可視化モジュールが用意されている。

(音楽学習システム)音楽学習を支援するシステムにおいても、学習者にとってできるだけ操作し易いインターフェイスを実現し、認知的な負荷を小さくする必要がある。一方、楽器を演奏するという行為は身体的な動作を伴う。したがって、物理空間での人工物との相互作用を通して入力を行うことは、演奏における楽器の操作ともアナロジがあり、また通常の楽器にはない新たな要素や文脈を付加することで、学習者が音楽に親しむのを促進できると考える。

学習者の音楽や楽器演奏への興味、知識、技術には個人差があるので、本システムでは、機能の異なる複数のモードを用意した。

この3年間の研究では、「ユーザ(学習者)の視点をとり入れたデザイン」を実現という観点からのシステム構築を行い、実証実験を2年にわたり行うことができた。また海外でのデモンストレーションも行い、言語が異なる子供たちにも容易に参加できるシステムであることも実証できた。その結果以下の3点について十分成果をあげることができた。

- ・ 学習者自身の知識を基に働きかける物理世界を他の学習者と共有できれば、他者からのフィードバックを通して相互に思考の外化が容易になった。
- ・ キーボードやマウスを介した操作ではなく、物理世界への直観的かつ直接的な働きかけを可能にすることにより、コンピュータの操作の得手不得手に依らず、誰もが容易に参加できる環境を実現できた。
- ・ ゲーム的な感覚を加味することにより、楽しみながら、かつ本物性のある問題に取り組むことができた。さらにゲーム的な感覚がどこまでグループ学習に応用できるかといった観点から、音楽学習支援のインタフェースを変更したシステムも構築し、中学生、高校生を対象に実験も行っている。

自己評価

- ・ ハードウェア開発からのスタート さきがけに応募したときに現場できちんとユーザ評価ができるシステムを構築し、新しい学習支援への手法を確立したいと考えていたが、その目的は、ある程度達成できたと考えている。しかし、ハードウェアの開発を行った1年間は試行錯誤と実験の失敗の連続で、研究の方向性が見えず非常に苦労した。テーマを変えたいと何度も思ったが、結果としては変えなくてよかったと思っている。
- ・ 実験について 最初は、教育委員会に実験の申請に行っても許可がおりず、途方にくれたが、実験を受け入れてくれる小学校や中学校が次第に増えて、ネットワークで複数校つないで実験もできるようになった。分析データをある程度自由にとれるようになり、研究を進めることができた。また海外で実験する機会にも恵まれ、日本の小学生の実験と異なる実験ができ、有意義な海外出張もできた。

しかし、学習者の要求に応じて、システムを改良、拡張し、学習者とともに進化するシステムの開発についての検証実験は、3年間で十分行えたとはいえない。システムの改良に時間をとられて実験期間や回数は当初の計画の3分の2くらいしかできていない。

また本研究では、プロトタイプとしての学習支援システムではなく、学校現場で実際に使えるシステムの構築をめざしている。さらなるコンテンツの充実や、複数のボードをつなげることによるネットワークとFace-to-Faceの状況を組み合わせる状況での分析も行う予定である。学習者の環境にあわせて、拡張、進化が可能であり、使用して楽しいシステムの実現にむけて今後も学習支援研究に励んでいこうと思っている。

5 . 領域総括の見解 :

学校教育におけるコンピュータ利用という重要な課題に取り組み、特に、子供たちがグループ学習を能動的に行えるための新しいシステムを開発して、実際に小学校に導入して大きな成果をあげたことは評価できる。また、海外の小学校でのデモにおいて好評を得たことも今後の期待として評価できる。

6 . 主な論文等

* ・ 楠房子、杉本雅則、橋爪宏達思考の外化を支援することによるグループ学習支援システム、電子情報通信学会論文誌、Vol.J83-DI、No.6、pp.580-587、2000.

・ Kusunoki F、 Sugimoto、 M、 Hashizume、 H.: :Toward the Integration of Physical and Virtual Worlds for Supporting Group Learning. In Digital Cities: Technologies, Experiences, and Future Perspectives、 Springer-Verlag、 pp. 224-235、 2000.

・ Kusunoki、 F、 Sugimoto、 M、 Hashizume、 H.: "A System fro Supporting Group Learningby Pupils for pupils "、 In Proceedings of World Multi-conference on System、 Cybernetics、 and Informatics (SCI2000)、 Orlando、 FL、 2000.

* ・ Kusunoki F 、 Sugimoto M、 : "A System for Supporting Group Learning that Enhances Interactions"、 Computer Supported Collaborative Learning Conference at Stanford (CSCL'99). Dec. 1999.

・ 楠房子、佐伯胖 : 意見が違うから学び合える、非合意形成的共同学習支援システムの開発をめざして、pp564-568.情報処理学会誌「ソーシャルインタラクション」特集、June、1999.

受賞

・ インタラクティブ発表賞 (インタラクション 2000)

研究課題別研究評価

1. 研究課題名：位相空間データモデルの時空間データへの応用

2. 研究者名：黒木進

3. 研究のねらい

時間とともに位置や形が変わる図形データを時空間データという。時空間データをデータベースでうまく格納・検索するためのデータ表現とデータモデルを中核として研究を行う。研究を進めるにあたっては、図形のつながり方を表すための基本概念である位相空間を図形表現の基盤に置く。位相空間を基盤としたデータモデルを作り、それを機能拡張することにより時空間データ、図形データそのものである空間データおよび時間データを表すデータモデルをそれぞれ構築する。

4. 研究結果及び自己評価

研究結果

- (1) 位相空間の表現として凸胞複体を用いて、位相空間を格納・検索するためのデータモデルである位相空間データモデルを構築した。凸胞複体は互いにそれらの辺でのみ交わる(接する)凸胞の集合として表されるので、凸胞のつながりに関するオペレーションを持つ。これらのオペレーションには凸胞および凸胞複体の隣接関係や、凸胞を元と見たときの集合演算、凸胞複体の境界演算が含まれる。凸胞複体に対する単項演算はもちろん、二つの凸胞複体が共通の凸胞に分解されているときにはこれらの演算は閉じている。
- (2) このようにして構築された位相空間データモデルにおいて、位置や時刻に関する検索を行うことができない。なぜなら頂点の座標値を定義できないからである。これを克服するために、0 自由度の凸胞である点に対して座標を定義する。ここで定義する座標は、これから表現しようとするデータの種類によって異なる次元と性格を持つ。例えば、空間データであれば2つあるいは3つの空間座標値、時間データなら時間座標値、時空間データであればこれらの両方により記述される。点に付与された座標値の意味を解釈し、位置あるいは時刻に関する検索を行うために、位相空間データモデルに座標データとそれらの関係の意味を解釈するための部分を機能拡張として定義した。
- (3) 位相空間データモデルを機能拡張して得られる空間データモデルや時間データモデルにおいて求められるオペレーションを実装した。空間データモデルにおいては二つの図形の交わりや包含関係を計算する場合、二つの図形が内部表現レベルにおいて共通の凸胞に分解されている場合は凸胞の関係を見ればよく、座標データは必要ない。しかし位置に関する検索や共通の凸胞分割を持たない場合は、点に与えられた座標値をもとに演算を行う。時間に関しても同様である。Allen の定義する temporal relationship のうち、時区間の交わりや包含関係に関しては位相的な関係だけで計算を行える。しかし、時区間の前後関係に関する演算にはどうしても座標値が必要である。これらのことを踏まえて時間データや空間データ、時空間データに関する演算を定義した。
- (4) 時間データや空間データ、時空間データは最も抽象度の低いレベルでは位相空間として表現されていたので、座標値に関する解釈をすると凸な図形の集合となった。この性質を利用して、二つの時間データや空間データ、時空間データの演算を高速化するためのメソッドとして R^* -tree など

のインデックスが自然に導入される。これは多数の時間データや空間データ、時空間データのなかから所望のものを見つけるのみならず、二つのデータ間の演算にも利用できる。

- (5) 画像データベースの内容検索を例題として、モデルの記述能力を確かめた。画像データに現れる被写体を切り出して格納し、その形状や大きさ、連結成分の数など計量的あるいは位相的な特徴量を計算して画像に付加した。これらのデータから画像を分類し、利用者の閲覧を支援するシステムを開発した。

自己評価

- (1) 時間データベース、空間データベース、時空間データベースに関する研究を広く概観し、その内部表現から検索、インタフェースまで勉強する良い機会となった。時空間データベースを実現してゆくための技術課題や構成法について理解を深めることができた。この次にこのようなデータベースシステムを開発するときには役立つ知識を得たと思う。
- (2) 時間や空間を表す座標にはそれぞれ連続性がある。これを手がかりとしてそれぞれの座標のもつ意味を捨象して時間データ、空間データ、時空間データを統一して取り扱うことは抽象度の低い内部表現の部分ではうまくいったが、それらデータ固有の性質に関する検索、特に位置や時刻、図形の面積などに関する検索については位相空間という考えだけで押し通すことはできなかった。そのためにデータの種類に応じた機能拡張をすることとなった。
- (3) データモデル論に関する理解が不十分で、モデル論と内部表現に関して誤解があるなかで研究を進めたために、何度か後戻りが必要になったことを反省せねばならない。
- (4) 研究の申請を行う際に研究項目を盛り込みすぎてしまい、私個人の能力を超えてしまっていた。このために、当初計画した研究項目のうちインタフェースに関する部分については全く成果が得られなかった。この課題については今後また一から考え直していきたいと思っている。

5. 領域総括の見解：

時間経過とともに位置や形が変化する図形をデータベース化することに成果をあげた。さきがけ研究開始時は、研究推進のアプローチに不安な面があったが、なんとか目標に達したと言える。データベースを中心とした研究内容であり、当領域には、他にも研究者がいたが、全体会議などで積極的な議論への参加や意見交換などがあまり見られなかったのは惜まれる。

6. 主な論文等

[1] 黒木進、牧之内顕文: 位相空間データモデル Universe の凸胞と凸胞複体クラスの拡張、DEWS1999、1999 .

*[2] A. Makinouchi and S. Kuroki: Enhancing Databases by Introducing Spatial Data Types for Non-Geographical Applications, Advances in Multimedia and Databases for the New Century (Y. Masunaga and S. Spaccapietra (Eds.)), pp.96 - 105, World Scientific, 2000.

*[3] 尾下真樹、長野英彦、中野裕也、金子邦彦、黒木進、牧之内顕文: 時空間データ表現モデル Universe のプロトタイプ開発、DEWS2000、2000 .

[4] 前迫隆志、黒木進、佐藤聡、北上始: クラスタ分析木を用いた対話的画像検索のためのインタフェース、DEWS2001、2001 .

研究課題別研究評価

1. 研究課題名：化学反応のニューラルモデル化による定量的反応予測の実現

2. 研究者名：佐藤寛子

3. 研究のねらい

本研究の目的は化学合成研究を効率的かつ合理的に進めるためにコンピュータ上で化学反応を定量的に予測する汎用的なコンピュータプログラムシステムを開発することである。本目的の達成のためには任意の化学反応の生成物と生成比とを予測できるだけの理論が必須である。しかし、化学反応の複雑さと多種多様さゆえにこのような一般的な理論はいまだに確立されていない。そこで、化学の長い歴史の中で蓄積された膨大な反応情報をもとに、反応の法則性や規則性を見出すときの化学者の思考過程を模倣したニューラルネットワークモデルを創製する。ここでは、コンピュータの特色である前提を維持した演算の高速性と網羅性、正確な数値処理、大容量の記憶容量を十分に活かすことで、系統的かつ定量的な予測能力を有し、かつ化学者の定性的な直観や思考と相補的に発展できるモデル化を目指す。これを主軸として活用し、定量的反応予測プログラムシステムを構築する。

4. 研究結果及び自己評価

研究結果

化学者の研究形態と、化学反応情報の多様性・複雑性・非線形性に着想を得た、「化学者の記憶と思考の過程を形式的に模倣した化学反応のニューラルモデル化による定量的反応予測」の研究構想を提案した。本研究構想のポイントは、1) 反応に関する種々の支配因子をコンピュータでどのように表現するか、2) そして、それらをどのようなネットワークで有効に関連付け、予測モデルへと繋ぐか、にある。さきかけ3年間において、これらのポイントに重点を置いて得た種々の研究結果を以下に示す。

1) 反応の支配因子の表現法の開発

- ・ 反応表現法 Reaction Similarity (ReacSim vector) を開発し、従来にはなかった汎用性の高い化学反応の数値表現を可能にした。ReacSim vector を識別子として任意の反応の分類に適用、その有効性を確認した。

- ・ 立体化学表現法 CAST (CAnonical-rearrangement of STereochemistry)を開発し、従来不可能であった、立体化学の規範的表現を可能にし、立体構造データベースからの正確な立体化学構造検索を可能とした。また、CASTを立体化学表現の基本として利用し、正確な立体化学表現と認識を必要とするデータベース主導型 NMR (核磁気共鳴) 化学シフト予測に応用し、¹³C-NMR 化学シフト予測システム CAST/CNMR を開発した。CASTにより、従来不可能であった、立体化学を考慮した精密な¹³C-NMR 化学シフト予測を実現し、CASTの有効性を示した。

- ・ 仮想反応相手との相互作用に基づいて分子を3次元的に特性値化する FRAU (Field-characterization for Reaction Analysis and Understanding) からの変数選択により、多様な反応試薬を一般的に表現する方法を考案した。本表現を識別子として反応試薬を分類した結果、反応試薬の機能の類似性とよい相関のある分類結果が得られた。

2) 予測モデル化

- ・ FRAUを識別子とした反応試薬分類結果をもとに、反応試薬の機能予測モデルを構築した。モデル化の手法としては、カウンタプロパゲーションタイプの Kohonen ニューラルネットワークに対して、反応

データを取扱う上で重要である「反応しなかったデータ(ネガティブデータ)がある」ことを考慮できるように拡張・改良を行い、これを利用した。本モデルを用いて、実際に報告されていない試薬も含めて予測を行い、文献ならびに化学実験によって予測結果の妥当性を示した。

自己評価

反応をコンピュータで取扱う上で重要な表現方法 ReacSim vector、CAST、FRAU 等の開発により、研究構想の重要なフェーズである反応分類の研究を大きく進展させることができたと思う。また、各表現方法の汎用的反応分類、NMR 化学シフト予測、反応試薬機能予測等への適用により、それぞれの表現方法の有効性を示すことができた。これらの結果は、今後の研究構想の実現に向けた研究の発展に大きく結び付くことを示すとともに、一方では、アプリケーションそれぞれの実用化の可能性も示した点で、有効な成果であったと思う。

このように、反応を支配する重要な因子の表現については、当初計画していた以上に研究を進めることができた。また、反応試薬の機能予測モデルにより、特性値化 分類 モデル化 予測の流れを示した。しかしながら一方で、さきがけスタート地点での目標であった、「対象とする反応を絞った上で3次元の要素も考慮した反応予測の流れを実現する」ところまでは、3年間で至ることができなかった。今後、さきがけ研究で得た成果を踏まえ、当初の目標に向けて研究を進めたいと考えている。

また、反応を支配する因子としては、これまでに開発したものだけでは十分ではなく、今後、分子軌道に関する因子、溶媒の因子、触媒の因子等についても考慮できるように表現方法を開発する必要がある。モデル化法についても、従来の情報科学で開発されてきた手法だけではなく、化学反応という複雑かつ多次元のデータを取扱うために必要な手法を、拡張・開発していく必要があると考えている。

反応の系統的理解と予測は、化学者の一つの夢であり、壮大なテーマである。本研究構想は、従来とは異なるアプローチでこのテーマを実現しようとするものである。さきがけ研究の3年間で、本研究構想の実現に向けた、重要な種々の研究成果を得ることができたと思う。実現には今後も多くのブレイクスルーが必要であるが、一つ一つの難題を地道に解決し、最終目標に近づいていきたいと考えている。一方で、それぞれ一つ一つの研究から派生してくる、NMR 化学シフト予測システムや反応試薬機能予測モデルなどの、比較的短い時間で実用化の可能なシステムも成果として得られる。これらの実用化の方向への研究も併せて進めていきたい。さきがけ研究の3年間では、本研究の基幹部分において大きく前進することができた。多謝するとともに、これらを糧に今後も研究を進めていきたいと思う次第である。

5. 領域総括の見解

わが国では、まだ研究分野として歴史の浅い環境の中で、コンピュータ上で化学反応を定量的に予測する汎用的コンピュータプログラムシステムを開発することを目的とし、不断の努力により大きな成果をあげたことは高く評価できる。また、外部に対する成果の発表にも積極的であった。今後の目標もしっかり捉えており、将来の研究推進が大いに期待できる。

6 . 主な論文等

〔論文〕

- (1) Satoh, H., Itono, S., Funatsu, K., Takano, K., Nakata, T.: "A Novel Method for Characterization of Three-dimensional Reaction Fields Based on Electrostatic and Steric Interactions toward the Goal of Quantitative Analysis and Understanding of Organic Reactions", J. Chem. Inf. Comput. Sci., 39, 671-678 (1999)
- (2) * Satoh, H., Koshino, H., Funatsu, K., Nakata, T.: "A Novel Canonical Coding Method for Representation of Three-dimensional Structures", J. Chem. Inf. Comput. Sci., 40, 622-630 (2000)
- (3) * Satoh, H., Funatsu, K., Takano, K., Nakata, T.: "Classification and Prediction of Reagents' Roles by FRAU System with Self-organizing Neural Network Model", Bull. Chem. Soc. Jpn., 73, 1955-1965 (2000) (Headline Article)
- (4) Satoh, H., Koshino, H., Funatsu, K., Nakata, T.: "Representation of Configurations by CAST Coding Method", J. Chem. Inf. Comput. Sci., J. Chem. Inf. Comput. Sci., 41, 1106-1112 (2001)
- (5) 佐藤寛子: "コンピュータによる定量的有機反応予測への挑戦 反応の支配因子による分類から反応の本質を探る "化学と工業" 化学のフロンティア'99 はばたけ若き研究者たち ", vol. 52, 2月号, 146-150 (1999)
- (6) 佐藤寛子: " 化学反応の地図を目指して ", 科学技術ジャーナル, vol. 10, No. 2, 50 (2001)
- (7) 佐藤寛子: " 化学反応の地図と反応予測", 有機合成化学協会誌, 「特集号 今、若手研究者は何を目指しているか」, vol. 59, No. 5, 470 (2001)

〔特許〕

- (1) 佐藤寛子、船津公人、中田 忠、鷹野景子「分子の反応特性予測方法」、特許・出願番号 H10-258483.
- (2) 佐藤寛子、越野広雪、中田 忠「分子の立体化学コード化方法」、特許・出願番号 H11-288691.

〔受賞〕

- (1) 有機合成化学協会 第一製薬研究企画賞 (1999年2月)
- (2) 科学技術振興事業団 第35回科学技術情報振興賞・論文賞 (2000年10月)
- (3) 第23回情報化学討論会ポスター賞 (2000年11月)
- (4) 日本化学会 BCSJ 賞 (2001年3月)
- (5) 日本薬学会第27回反応と合成の進歩シンポジウムポスター賞 (2001年11月)

研究課題別研究評価

1．研究課題名：選択的聴取を行動的に測定する装置の開発

2．研究者名：高橋雅治

3．研究のねらい

我々は、他者の心の中を覗くことができない。だが、他者のふるまいを細かく観察すれば、他者の心のある程度推察することはできる。実際、視覚についての研究では、人間の眼球運動を測定する手法がすでに確立され、様々な研究に使われてきた。ところが、聴覚については、視覚における眼球運動測定法のような手法が確立されていない。そこで、本研究では、「人間がある瞬間にどの音を聞いているのか」を行動的に測定する技術を開発することを試みた。さらに、その装置を行動研究及び認知神経科学研究に応用することで、その流布をはかることも目的とした。

4．研究結果及び自己評価

研究結果

- 1) 選択的聴取を行っている時の頭部運動を精密に測定する研究を2年間行い、どの聴覚刺激を聞いているかにより、それぞれ特徴的な頭部運動を発見した。
- 2) 選択的聴取を行っている時に、聞いていない方の聴覚刺激の聞こえ（いわゆるカクテル・パーティ効果）を実現する物理的フィルタを開発した。これは、頭部運動に応じて特性が動的に変化する特殊なフィルタであり、「変動型フィルタ」と名付けられた。
- 3) 上記2つの成果を組み合わせ、選択的聴取を行動的に測定する装置を完成させた。
- 4) 開発した装置を行動実験に応用し、その実用性を例証した。
- 5) 光トポグラフィ装置を用いた実験から、2)で開発した「変動型フィルタ」についての個人差を、脳における情報処理の個人差と対応させるための基礎的な知見を得た。

自己評価

この3年間は試行錯誤の連続であり、膨大な労力を払ったにもかかわらず全く成果を上げられないことも多かった。だが、最終的には、当初の目的である「選択的聴取測定装置の開発」をなんとか実現することができた。以下に、個別の研究事項について評価する。

- (1) 選択的聴取を行っている人間の頭部運動を系統的に解明する研究については、測定と分析のための装置を開発し、3年間にわたって実験研究を行うことで、十分な成果を上げることができた。
- (2) カクテル・パーティ効果を物理フィルタで再現する試みは、最初の2年間の心理物理実験がすべて失敗に終わった。そのため、最後の1年間では、全く別の手法を用いてその開発が試みられた。具体的には、心理物理実験ではなく、頭部運動に連動して物理フィルタを聴覚刺激に適用する装置をあらかじめ開発し、その装置を用いて各種フィルタの適切さを評定することが試みられた。その結果、最終的には、カクテル・パーティ効果を実現するフィルタの開発に成功した。

- (3) 上記の2つの成果により、装置の開発に成功し、現在特許を申請中である。だが、カクテル・パーティ効果を実現する物理フィルタについては、より自然なものとするために、さらに改良の余地がある。従って、今後はこの研究に取り組む。
- (4) この装置を心理行動実験に応用することで、その有用性を例証することができた。だが、この装置を広く流布させるためには、より緻密な研究を行い、その成果を研究誌に掲載することが必要と考えている。
- (5) この装置を認知神経科学研究への応用については、研究の2年目後半から開始したにもかかわらず、人間が脳内で行っている情報処理の個人差を解明するための基礎的な知見を得ることができた。だが、被験者の報告する主観的な聞こえの世界との対応付けについては未解決のままである。従って、今後はこの研究に取り組む。
- (6) この装置を、主観的聞こえの個人差についての研究（心理物理研究および認知神経科学研究）と組み合わせることで、心理的仮想現実感というまったく新しい研究分野を開拓する可能性が現実味を帯びてきた。そこで、今後は、この方向にそった試行錯誤的な研究に挑戦する。

5．領域総括の見解

「人間がある瞬間にどの音を聞いているか」を行動科学的に測定する新しい技術を開発し、認知科学、認知行動学に新風を吹き込んだ。高橋雅治の研究成果は極めて創造的であり、環境設計、教育、その他人間行動の関わる多くの分野で重要な応用結果が得られる可能性がある。

6．主な論文など

特許申請のため、本装置の開発についての外部発表は行っていない。

1. 高橋雅治、池上将永. 光トポグラフィーによる聴覚弁別時の脳血流変化の計測. 日本心理学会第65回大会発表抄録. pp76, 2001.

研究課題別研究評価

1．研究課題名：ドメイン指向のソフトウェア開発環境

2．研究者名： 千葉 滋

3．研究のねらい：

現在のソフトウェアは日に日に複雑さを増している。このため最先端の高度なソフトウェアを開発するためには、開発者が関連する広範な分野の知識を持っていることが必要となっており、それが開発の妨げになっている。そこで本研究では、人間の代わりに、プログラミングを部分的に肩代わりしてくれる汎用システムを開発することをめざした。そのようなシステムを実際開発するにあたり、最も重要な研究課題は、プログラミングの「知識」をどのようにシステムに教え込むかであった。本研究では、この点を中心に研究に取り組んだ。

4．研究結果及び自己評価：

研究結果：

本研究の主要な成果は、OpenC++、OpenJava そして Javassist という実際にプログラミングの肩代わりをおこなう3つのシステムである。OpenC++ は C++ 言語で、OpenJava と Javassist は Java 言語でのプログラミングの肩代わりをおこなうシステムである。肩代わりにあたって、OpenC++ は、ソースコードを直接書き換えるが、Javassist は、ソースコードをコンパイルして得られるバイトコードを書き換える。それぞれのソフトウェアは、インターネットを通じて広く公開され、世界中に多くのユーザを得ている。また、これらのユーザからのフィードバックにより、システムの機能を改善してきた。肩代わりの機能の実用性を示すために、Javassist を使って、分散処理を意識せずに書かれた Java プログラムを、自動的に分散処理をするように書き換えるシステムを開発した。さらに、これらのシステムに共通する設計アーキテクチャを一般化して示したことも主要な成果である。

自己評価：

当初の研究計画は、具体的な分野をいくつか定め、プログラミングの肩代わりを実行するシステムを作成し、改良を重ねるといったものであった。また、それを通じて、肩代わりを実行するシステム一般に関する設計指針や注意点を得ることも目標であった。前者の目標については、おおむね達成できたものとする。実用に耐えるシステムを試作・配布し、またそのシステムを使って実際にいくつかの肩代わりをおこなわせてみる事ができた。後者の点については、様々な知見が得られたが、現時点では論文ないしは書籍としてまとめるまでに至っていない。したがって後者の目標は十分達成できたとはいえない。しかしながら、これまでに得られた知見をもとに現在新しい研究を始めており、ごく近い将来に何らかの形で研究発表できるものと考えている。

5．領域総括の見解：

現在のソフトウェアは日に日に複雑さをましている。このため、最先端の高度なソフトウェアを開発するためには、関連する広範囲な分野の知識が必要であり、これが開発の妨げになっている。こうした

問題を解決するために、なんらかの形でプログラミングを部分的に肩代わりする機能が提供されているが、機能的に極く限られておりまたコストが高く実用的ではない。千葉滋は、こうした環境を解決すべく、プログラミングを部分的に肩代わりしてくれる汎用システムを開発して、インターネットを通して広く公開したことは高く評価できる。

6 . 主な論文等 :

* (1) Shigeru Chiba, " Load-time Structural Reflection in Java " , ECOOP 2000 -- Object-Oriented Programming, LNCS 1850, Springer, pp. 313-336, 2000.

(2) 立堀 道昭・千葉 滋・板野 肯三、クラスオブジェクトを用いた Java 言語用マクロ処理系、情報処理学会論文誌、41 巻 8 号、pp.2327-2338、2000 年 8 月.

(3) Michiaki Tatsubori, Shigeru Chiba, Marc-Olivier Killijian, and Kozo Itano, " OpenJava: A Class-based Macro System for Java " , Reflection and Software Engineering, LNCS 1826, Springer Verlag, pp.119-135, 2000.

* (4) Michiaki Tatsubori, Toshiyuki Sasaki, Shigeru Chiba, and Kozo Itano, " A Bytecode Translator for Distributed Execution of "Legacy" Java Software " , ECOOP 2001 -- Object-Oriented Programming, LNCS 2072, Springer Verlag, pp.236-255, 2001.

(5) 千葉 滋、バックアップ装置、科学技術振興事業団、特願 2000-187436、2000 年 6 月 22 日

(6) 千葉 滋、分散処理方法、分散処理プログラムを記録した記録媒体及び分散処理装置、科学技術振興事業団、特願 2000-238153、2000 年 8 月 7 日

研究課題別研究評価

1. 研究課題名： 次世代応用指向データモデルの開発

2. 研究者名： 遠山 元道

3. 研究のねらい：

データベースシステムは、企業などにおける大規模データ管理の必須技術として、広く利用されている。従来の応用では、レコードベースの入出力でデータベースの外部インタフェースは大抵用が足りていたが、近年 WWW や PDA との連携などにおいて、これらのアプリケーションドメインにおける構造化データと関係データモデルの構造上のミスマッチが大きなストレスを生み、多くのプログラマがインタフェースプログラミングに従事している。本研究では、検索言語 SQL にデータの構造化と各種メディアへの変換機能を持たせた SuperSQL の提案を中心に据え、これに基づいて種々の応用データを、データ、構造、メディア抽象の三要素に直交分解してモデル化する Trinity データモデルを提唱する。

4. 研究結果及び自己評価：

研究結果

データモデルを提案するということは、システム設計、インプリメント、プログラミングなどのためのフレームワークを与えることに相当し、その直接・間接の効果を端的に評価することは容易ではない。本研究では、従来混在していた概念を3つの直交要素に分離し、独立に論じる提案のメリットを、様々な切り口からの検証を積み重ねるアプローチをとった。

1) 新しい質問処理最適化手法： SuperSQL の質問文1つの実行によって、データベースのコンテンツから多段階のメニューナビゲートを含む Web サイトを生成することができる。しかし、全体を一つの質問で処理しようとする、データベースにわずかな更新があった場合でも全体の再生成が必要になる。ここでは、SuperSQL 質問言語に、別質問の動的呼び出し関数 invoke の機能を与える拡張を施し、これを用いて質問を複数の等価な質問に分解する手法を与えた。これにより、再生成を局所化することができる。複雑な質問では等価な分解が複数存在するので、コスト評価に基づき、最適な分解を選択することができる。このような最適化は、質問文が HTML 生成を行うという予備知識を利用することで初めて可能になる。Trinity モデルの三要素のうち、構造とメディア抽象から情報を受け、データ (SQL 質問) の部分の飛躍的な効率化を実現するという意味で、三元分解のメリットが大きく寄与している。

2) 高水準メディア抽象： ここでは三要素のうち、メディア抽象のみを考察対象としている。データベースという前提を一旦離れて一般のプレゼンテーションを観察してみる。たとえばルーブル美術館は多数の絵画を展示しているプレゼンテーションである。単に絵画の内容を利用者に伝えるだけならば、画集で事が足りるが、美術館での展示はむしろ美術館という建物自体のメディアとしての比重が極めて大きい。カーネギーホールでの演奏と、壁一枚外のセントラルパークでの演奏では同じコンテンツでも異なったプレゼンテーションとなる。データベースに絵画の画像情報が蓄積されるとして、SuperSQL によってこれらのプレゼンテーションを行う際、HTML、VRML というレベルでメディアを定義していたのでは、美術館の3D 仮想現実はあまりにも複雑すぎる。このとき「VRML で定義したルーブル美術館」をメディアとして捕らえ、フロア、部屋、壁面などをコンストラ

クタとして抽象化することにより、データベースの検索結果とメディアの任意の組み合わせによるプレゼンテーション(展覧会)の現実的な生成が可能となる。このように、VRMLを言語レベルでなく、特定のデザインに限定して高水準のメディアと捕らえる考えかたにより、Trinityモデルの現実的な多くの応用への適用に道が開かれる。

3) 木構造スキーマの情報容量: この視点は、三要素のうち構造にのみ着目したものである。関係データベースから得られた情報に対し、プレゼンテーションにおいてグルーピングを施す。グルーピングの仕方によっては、情報の損失が発生する。損失は必ずしも悪いことではなく、関係代数の射影演算のように、情報のサマライズの目的で積極的に利用される。同一の属性集合を対象とした SuperSQL の質問文の集合において、得られるプレゼンテーションの情報量に基づく同値類を定義し、これらが完全束を成すことを示した。

4) 応用 SuperSQL の総合的な応用として、関係データベースから XML ドキュメントへの変換など、重要な応用に関する成果について、適宜報告を行った。

自己評価

データモデルの提案は、データベースという研究分野において、考えられる最大のテーマである。多くの研究は、特定のデータモデルに基づく言語の提案、論理的・物理的な設計手法の提案、データ構造やアルゴリズムの提案などである。しかも本提案は、従来データベースの範疇では無視されていた、データベース周辺領域をモデルの対象として取り込むことを目的としている。この提案が本当に実を結ぶには、アカデミズムや産業界において、その優位性が認められ、これに基づく研究開発が広く行われたり、国際規格が定められたりするようにならなければならない。そこまでの成功は、正直に言って遥かに先のことである。E.F. Codd が 1970 年に発表した関係データモデルにしても、製品が供されるのに 10 年、SQL の ISO 規格ができるまで 20 年近くがかかっている。

前項で述べた成果はいわば土台づくりの段階で、先は長いが、私自身にとっては3年間の試練に耐え、ますますこのモデルの有用性、必然性に確信を深めることとなった。残念ながら3年の範囲に完結しなかったが、慶應義塾大学理工学部のデータベースの授業において、本年から SuperSQL を演習に取り入れる試みを始めた。いままで研究室の内部で、いわば作り手が自ら味見をしてうまいうまいと言っていたようなものだが、71名の第三者に実際に試用し、評価をして貰った。作品集(非公開)は <http://www.db.ics.keio.ac.jp/ssql/submit2001J.html> にあり、多くの利用者から SuperSQL の有用性についてポジティブなコメントが寄せられた。これを励みに、ソフトウェアを広く世に問い、さきがけ研究の成果が長期的に、かつ世界的に広がる日を、かなりの確信と共に夢見ている。

5. 領域総括の見解:

20世紀後半にデータベースとして、関係データモデルが提唱されて以来、確固たる成功を収めているが、今日 WWW のホームページなど日常的に目にする多くの情報は平坦な表とは異なる多彩なレイアウトに基づく表示になっている。遠山元道の研究は、関係データモデルの成功を踏まえて21世紀においてこれに代わる技術の基礎理論の創造と応用開発を行った。具体的には、関係データベースに対する質問言語 SQL の拡張として SuperSQL を開発し、これを道具として、データベースの対象を各種応用データの管理に拡大し、これを包括するデータモデルとして Trinity データモデルを開発、実装して応用につなげた成果は高く評価できる。

6. 主な論文等：

- *赤堀, 有澤, 遠山, SuperSQLによる関係データベースとXMLデータの統合利用, 情報処理学会論文誌 Vol.42 No.SIG 8 (TOD10), 2001年7月 pp66-95
- Y. Maeda, M. Toyama, ACTIVIEW: Adaptive Data Presentation Using SuperSQL, 27th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB2001), 2001年9月
- 有澤, 遠山 SuperSQL 処理系におけるグルーピング操作の効率的な実装, 電子情報通信学会データ工学ワークショップ 2001, 2001年3月
- 高畑, 石橋, 藤沼, 遠山 Magic Mirror Mailing: 個人情報データベースを利用する柔軟なメール配送システム, 情報処理学会 DBWS2001, 2001年7月

研究課題別研究評価

1. 研究課題名：主辞駆動句構造文法を用いた言語獲得モデル

2. 研究者名：鳥澤健太郎

3. 研究のねらい

本プロジェクトでは、言語の学習を大量のテキストを用いて計算機に行わせることを目標とした。この狙いを実現するにあたって、言語の学習が次にあるような二つのステップに分割できるという仮定をおき、そのおのおのについて計算機上でシミュレーションする研究を行うという計画をたてた。

ステップ A. 語彙学習

英語、日本語などの個別言語に関するある程度の文法や品詞レベルでの単語の性質が与えられたという仮定から出発し、単語、特に名詞の意味的な分類をテキストから学習するプロセス

ステップ B. 文法学習

第一のステップで前提となった文法を、より仮定の少ない状況から学習するプロセスである。より具体的には、単語の品詞（例えば、名詞や動詞）が与えられていない状況で、英語や日本語などの様々な言語に共通の性質を表現している「普遍文法」から出発し、与えられた単語列から、単語の品詞を推定しつつ、文法の学習を行う過程である。

また、本研究の特徴として、使用する文法の表現方法として主辞駆動句構造文法（Head-driven Phrase Structure Grammar, HPSG）とよばれる形式を採用し、それを用いて以上のプロセスを行うシステムを構築することを目標とした。

4. 研究結果及び自己評価：

- (1) 研究の狙いで述べたステップ A については、精度の高い確率的な単語分類を生成すると同時に、単語クラス間の意味的な関係をも同時に学習できる方法論を構築することができた。この結果をもとに、従来辞書などがなければ困難であるとされた言語の意味を扱うタスクで、ある程度の精度を出すシステムを構築することができた。さらには、今後ユーザーの意図の認識など、従来、コンピューターが常識を持たないが故に難しいとされてきた課題の解決につながるのではないかと期待している。また、当初設定した研究課題との関係でいえば、予想以上の結果であると考えている。
- (2) 研究の狙いで述べたステップ B については、主辞駆動句構造文法のフレームワークで普遍文法のプロトタイプを記述し、単語の品詞に関して推定を行いつつ、個々の言語（つまり、日本語あるいは英語）に特有なパラメーターを推定するシステムを開発した。しかしながら、記述を行った普遍文法のプロトタイプでは、扱えない言語現象が未だ多数あり、ステップ A で使用したより実用的な日本語文法（人手で開発したもの）との間にはかなりの差が存在する。これについては今後さらなる研究が必要とされる。
- (3) また、研究課題を遂行する上で必要な高速な主辞駆動句構造文法のための構文解析アルゴリズム、ならびに単語の意味分類学習と同様な手法による、WWW 上の表形式の構造解析ならびにオントロジー抽出などの学習に関する研究も行った。これらはサイドワークであるが、

非常に興味深い結果が得られ、今後の研究においても重要な役割を果たすと期待している。

5. 領域総括の見解：

計算機を用いた言語構造の自動獲得は、人間の言語処理の研究における重要な問題であり、また大量の情報の自動処理を必要とするこれからの情報処理社会における重要な応用研究課題であるが、簡単に解決できるテーマではない。鳥澤健太郎は、この困難な問題に挑戦し、主辞駆動句構造文法の利用という極めて正統的方法で、しかも世界的にみて最高速の手法を開発して成果を得たことは評価できる。

6. 主な論文など：

- (1) * Kentaro Torisawa. A nearly unsupervised learning method for automatic paraphrasing of Japanese noun phrases, In Proceeding of Workshop on Automatic Paraphrasing: Theories and Applications, pp.63-72, 2001
- (2) * Kentaro Torisawa,. An unsupervised method for canonicalization of Japanese postpositions, In Proceeding of 6th Natural Language Processing Pacific Rim Symposium, pp. 211-218, 2001.
- (3) Minoru Yoshida, Kentaro Torisawa, Jun'ichi Tsujii. A method to integrate tables of the World Wide Web, In Proceeding of the International Workshop on Web Document Analysis (WDA 2001),2001.
- (4) Hiroshi Kanayama, Kentaro Torisawa, Yutaka Mitsuisi, Jun'ichi Tsujii. A Hybrid Japanese Parser with Hand-crafted Grammar and Statistics, In Proceeding of the 18th International Conference on Computational Linguistics, pp. 411-417, 2000.
- (5) Kentaro Torisawa, Kenji Nishida, Yusuke Miyao, and Jun-ichi Tsujii . An HPSG Parser with CFG Filtering in Journal of Natural Language Engineering, Cambridge University Press, Vol 6(1), pp. 63--80, 2000.

研究課題別研究評価

1. 研究課題名: 人物行動を伝えるための知的映像撮影と編集

2. 研究者名: 中村 裕一

3. 研究のねらい:

映像を誰でも手軽に使えるコミュニケーション手段とするためには、映像撮影の問題を見直し、それをサポートするシステムを用意することが必要である。また、TV や映画のような形態にとらわれずに、受け手にわかりやすく、短時間で利用できる形で提供する方法を探ることが必要である。

この研究ではその一つのアプローチとして、料理や組み立て等の解説(プレゼンテーション)場面を題材とし、カメラマンの機能(人間の行動を知的に撮影する)、ディレクターの機能(人間の行動を認識して映像を知的に編集する)、マルチメディア・デザイナーの機能(映像が含んでいる情報をわかりやすく提示する)の3つの観点から、映像によるコミュニケーションをサポートする方法論を考え、それを検証するためのプロトタイプシステムを構築することを目的とした。

4. 研究結果及び自己評価:

研究結果

上にあげた3つの機能を実現するために、各々次のような手法を提案し、その検証実験を行ってきた。

カメラマンの機能(人間の行動を知的に撮影する): 顔や手先など、撮影の主対象となる部分を複数のカメラで常に追跡して、いつでも映像として利用できる状態にする自動化撮影システムを構築した。何をどのように伝えるかという目的とカメラの自動制御アルゴリズムやパラメータとの関係を探り、不快感がなくわかりやすい映像を取得する方法を提案した。

ディレクターの機能(人間の行動を認識して映像を知的に編集する): 人間の行動(ここではプレゼンテーションを対象)において重要な意味を持ち、注目する必要がある場面や部分を検出する手法を提案した。注目すべき部分は、時間的・空間的に常に変化するため、人間の行動(体の動きや発話等)を利用して、もっとも見せたい部分を検出するが重要なポイントである。また、シナリオ等のあらかじめ用意された情報を用いることも有効であり、シナリオの記述と人間の言動を照合する手法も提案した。

マルチメディア・デザイナーの機能(映像が含んでいる情報をわかりやすく提示する): プレゼンテーションのような目的がある場合、各時点の人間の行動やその他の被写体には意味や因果関係がある。それらをうまく記述して、映像をわかりやすく提示するような映像提示手法を提案した。映像中のフレーム(画像)をアイコンとし、それを概念図のように並べることで映像の構造を表現する、ビデオアイコンダイアグラムの手法を提案した。

このような考え方に基づいて、映像の自動撮影・編集システムを構築した。このシステムでは、位置センサや画像処理により話し手や特定物などの位置を取得し、複数台の首振りカメラを制御すること

で自動撮影を行う。各々のカメラで撮影された映像は、MPEG エンコーダを通して保存され、ランダムアクセスが可能になる。また同時に、位置センサと音声認識を併用して話し手の動作認識を行い、映像へのタグ付けを行う。さらに得られたタグを基にして、視聴者が見たいと思う部分を効果的に提示する。実際に撮影実験を行った結果、カメラの切り替えを含め、自然な映像が得られることを実証した。このシステムには、実用的なシステムとしての種々の応用が考えられると同時に、映像撮影や映像編集を実証的に探るためのツールとしての利用が考えられる。これから、更に発展させていく予定である。

自己評価

「さきがけ 21」プログラムの支援を受け、3 年間最も力を注いだのは、システムを実際に動作させることであった。原理的には簡単な処理の組み合わせではあるが、実際に総合システムとして構築し、実時間で動作させたのは世界で初めてである。心配された映像の「質」も、時には素人ビデオ以上の結果が得られるところまでいったことに満足している。一般的な問題を扱うためには、まだまだ不十分な点が多く、すぐに実用化ができるものではないが、映像コンテンツ取得を自動化するシステムの可能性を示した点で、十分な意義があった。

このように実証的なシステムを構築したことから、他の研究との協力が行えるようになった。科学研究費・特定領域研究「視覚情報メディアのためのパターン認識・理解」では、複合コミュニティ空間(現実世界と仮想世界を合成した場で複数の人がコミュニケーションを行う空間を呼ぶ)をサポートするシステムとして利用されている。また、本年度から 5 ヶ年計画の科学研究費・学術創成研究「人間同士の自然なコミュニケーションを支援する知能メディア技術」において、様々な用途に用いることのできる映像コンテンツを獲得するためのプラットフォームとして活用される予定である。

今後は、扱う対象を少しずつ広げること、人間の自然なさりげないコミュニケーションを扱えるようにすること、マルチメディアコンテンツとしての利便性を高めること等、種々の点から高度なシステムへ向けてのアプローチをする予定である。さらに、このような実際的な研究とともに、映像を情報としてどのように表現し、扱うかという点について考察していきたい。映像がコミュニケーション手段として日常に深く浸透しているにもかかわらず、その情報学的な表現や扱いにはまだ十分なアプローチがなされていないのが現実である。映像がこれからますます大量に流通・蓄積されていくことを考えると、映像の本質を「情報と知」の面から探ることが必須であると考えている。

5. 領域総括の見解:

映像や映像を基にしたマルチメディアコンテンツがコミュニケーションの手段として重要性を増す中で、誰でもが手軽に使えるコミュニケーション手段にすべく、総合システムを開発し、世界で初めて実時間で動作させた成果は高く評価できる。また、応用範囲が広い技術であり、今後の研究発展に期待できる。

6. 主な論文等:

* (1) Y.Nakamura, M.Ozeki, Y.Ohta, An Intelligent System for Capturing Presentation on Desktop Manipulations --- Supporting for Video Contents Production, Chapter2 in Internet Based Teaching and Learning, R.Howlett and L.Jain eds., Advanced Information Processing Series,

Springer-Verlag (accepted)

(2) M.Ozeki , Y.Nakamura , Y.Ohta , Camerawork for Intelligent Video Production --- Capturing Desktop Manipulations , Proc. Int. Conf. on Multimedia and Expo , TA1.5 , pp.41--44 , 2001

(3) M.Murayama , Y.Nakamura , Y. Ohta , Diagram Generation From Tagged Texts Toward Document Navigation , Proc. Int. Conf. on Multimedia and Expo , FP0.4 , pp.716--719 , 2001

(4) * 村山正司,伊津野英克,中村裕一,大田友一,ビデオアイコンダイアグラムによる映像内容の構造表現,信学技報 PRMU2001-45, pp.47--54, 2001

(5) Y. Nakamura , Multimodal Approach toward Intelligent Video Production , International Workshop on Multimedia Intelligent Storage and Retrieval Management , pp.1-8 , 1999

研究課題別研究評価

1. 研究課題名：Visibility Programming の研究

2. 研究者名：原田 康德

3. 研究のねらい

使用者の立場から、プログラムを柔軟に拡張できるようにするために、ソフトウェアの構築法を探り、それを実証する。具体的には、従来のプログラムはデータとそれを操作する小さなプログラムの組をひとまとまりのオブジェクトとして扱い、それを沢山集めてひとつのアプリケーションとしていた。これはデータごとの拡張には優れているが、あるデータを操作する新しい機能を拡張することは難しい。それを本研究では、すべてのデータを使用者とコンピュータとで共通にアクセスできるようにし、それらを複数の機能別のプログラムによって操作することでアプリケーションを作成する。新しい機能は新しいプログラムを作成するだけで追加できる。

4. 研究結果及び自己評価

研究結果

1) Visibility Programming

システムのすべての状態を表現する共有データ空間と、それをアクセスする複数のプロセスからなる構造によるプログラミング (Visibility Programming (VP)) が実現されると、小さな機能をユーザレベルで拡張することが容易なシステムが実現できる。従来はアプリケーション、アルゴリズムが決まってから、それに必要なデータ構造が決まっていた。しかし、VP のためにはどのような用途にでもデータを使えるように設計しておく必要がある。そこで、共有構造として全ての参照が逆参照を持つデータ構造を採用した。

2) CCC：ユーザ定義可能なオブジェクト構造

ユーザによってオブジェクトの構造を自由に定義できる言語 CCC を開発した。C++オブジェクトが共有メモリに格納できなかった理由はメソッドディスパッチのためのテーブルが原因であった。CCCは従来のオブジェクト指向言語が言語の組み込み機能として提供してきたメソッドディスパッチをユーザが自由に定義できるようにするものである。CCCの極めて重要な特徴は同じデータに対しても、条件式の木を代えることで、自由にそのデータの解釈を変更することができるという点である。この性質はVPが目指していた、「データが最初にあり、後からそのデータを自由に解釈する」そのものである。

3) パターンマッチによるメソッドディスパッチ

任意のパターンによりクラスを定義し、そのなかにメソッドを定義する。ある対象に対してメッセージを送ると、それに対応するメソッドを定義しているパターンに対してパターンマッチを試み、成功したらそのメソッドを呼び出すようにする。これによってすでに存在している任意のデータ構造を任意の粒度でオブジェクトとして扱うことが可能となった。

4) ダイナミックデータ抽象

従来のデータ抽象が静的に行われていたのに対して、VPでは動的にデータ抽象を行う。すなわち、条件式やパターンマッチに成功した時点で、対象にはある制約がついたことになるが、その部分構造に動的に名前をつけて、プログラムから参照できるようにする。名前によって抽象化さ

れた構造を用いることで、プログラム再利用性が向上する。

自己評価

- 1) 当初、予定していた計画の半分も実現できなかった。それは、向かおうとしていた問題が良く見えていなかったからである。まず、計画では研究を開始してすぐに、デモ用のシステムを作るようになっていた。しかし、実際に研究をすすめてみると、提案している方式ではオブジェクト指向で使われている近代的なプログラミング技術がほとんど使えず、プログラミングは難航した。このことから、研究はより具体的に、いかにして近代的なプログラミング技法を VP という新しいプログラミングの枠組みで実現するか、という方向に進むことになる。
- 2) 研究は最初は直感で進み、後からその裏付けの理由を考える、として進めてきた。もちろん、そのヒントは様々な検討の末に生まれたものであるのだが、最初の方向を決めた後は、過去の経験や美しいシステムに対する信仰などに従って進めてきた。たとえば、ダイナミックデータ抽象という考えは、当初からアイデアとしてはぼんやりとあったものであるが、このような名前をつけたことによりずいぶんとはっきりと見えてきた。逆ポインタを持つシステムは直感的には正しいと信じるが、まだ説得力をもつ説明は見つかっていない。
- 3) まだ、具体的な応用につなげるまでには越えにくい壁があるように感じる。これは、単にツールが整備されていないからなのか、それともまだ、根本的な問題が残っているからなのか、よく分からない。しかし、研究をスタートした3年前からみると、格段に見通しがよくなった。
- 4) これから研究が面白くなるところで、本制度の期限がきてしまった。しかし、この先はこれまでのような、成果の出しにくい状況ではなく、順調に成果を積み重ねることができそうであり、特に本制度の直接的な支援がなくとも進められる。逆に言えば、本制度の保護があったからこそ、このような冒険的な研究を進めることができたといえる。

5 . 領域総括の見解

様々なユーザが多種多様な用途で計算機を使用している今日、プログラム開発者はユーザの要求を満足させるようなアプリケーションを実現することは不可能である。この問題の解決には、ユーザ自ら、あるいはユーザに近い開発者がアプリケーションの拡張を行えるようにする必要がある。原田康徳は、ユーザの立場から、プログラムを柔軟に拡張できるようにするためのソフトウェアを開発し、検証したことは評価できる。

6 . 主な論文等

- 1) *Yasunori Harada , Kenichi Yamazaki , Richard Potter: CCC: User-Defined Object Structure in C . ECOOP 2001: 118-129
- 2) 原田康徳 , 山崎憲一: CCC --データの内部表現に依存しないオブジェクト指向 , 情報処理学会論文誌:プログラミング , Vol . 42 , No . SIG2(PRO 9) , pp . 48-60 (2001) .
- 3) Kenji Miyamoto , Yasunori Harada , Richard Potter: KVispach : A Visual Language for Animation that Rewrites Kinematic Objects , Advanced Visual Interfaces 2000 , 255-260 .
- 4) 宮本健司 , 原田康徳 : 分散書換えビジュアル言語によるネットワークアプリケーション構築法 , コンピュータソフトウェア , Vol . 16 , No . 5 (1999) .
- 5) 原田康徳 : 逆ポインタを持つ CONS , プログラミングシンポジウム (2000) .
- 6) 原田康徳 : Visibility Programming - 宣言的状態記述によるシステム記述 , SPA2001 .
- 7) 原田康徳 : データ抽象のないプログラミング , 夏のプログラミングシンポジウム (2001) .

研究課題別研究評価

1. 研究課題名： 新しい舞踊の創造のために脳で採択される評価関数の検討

2. 研究者名： 星野 聖

3. 研究のねらい

研究の目的は、創作舞踊や新しい振り付け動作に代表されるような観る人に感動を与えるような、全く新しい一連の順序運動を創発し獲得するため、中枢神経系がどのような評価関数を採択して運動指令の生成を行っているかを感性情報処理、脳の計算理論、ロボティクスの観点から明らかにすることである。最終目標は、ヒト上肢のような多関節で主働筋 - 拮抗筋構造を持つロボットアームが、「優雅に踊れ」とか「悲しげに踊れ」といった感性語的指令により、不良設定問題をアーム自らが解決しながら、観る人にその種の心理効果を挙げ得る舞踊動作を作り出せるようなシステムを構築することにある。

4. 研究結果及び自己評価

目標達成のため、以下のような6つの小課題について検討を行い、学術論文発表と特許出願を行った。

- a. 感性評価と統計手法を用いた「動きと印象」の定量化
- b. 動作が観察者に与える印象を検討するためのCGアニメーションシステムの開発
- c. 舞踊における繊細な手指3次元動作を無拘束で推定するための画像処理
- d. 単眼カメラによる3次元ジェスチャ認識
- e. ヒト型ロボットアームの設計試作と制御実験
- f. 精緻な舞踊動作を生成できるヒト型ロボットハンドの設計

これらのなかで、それぞれ項目aとbは動きと印象の関係性の定量化、項目cとdは特殊な計測機器を使わないヒト3次元運動計測、項目eとfはヒト型ロボットによる動作発現、に関する研究成果である。

自己評価

項目aについては、意味微分法を用いた各種舞踊パターンの主成分分析と、上腕軌道や関節運動時系列データに関する各種運動学的特徴を説明変数とした重回帰分析の併用により、上肢運動に関わる各種の主観的印象を運動特徴の線形和の形で記述できた。この手続きを、舞踊に対する知識の有無で比較すると、印象構造そのものに大きな相違はなかったが、それぞれの印象を生み出している動作上の特徴に大きな違いが認められた。すなわち、舞踊専門家グループにおいては、重厚さや快速感といった印象を生み出しているものが、肘とか手首といった特定の身体部位の運動学的特徴と高い相関があり、知識により観るべき部位や運動と受ける印象が修飾を受ける傾向が顕著に見られ、面白い学術的結果が得られた。現在は、舞踊文化の違いによる「動き」と「印象」の関係を定量化するため、国際文化学的比較を進めつつある。

項目bでは、磁気式モーションキャプチャとデータグローブで計測したヒト3次元運動データ2種類を入力すると、任意の比率で両者の内挿・外挿表現を計算しCGアニメーションにより描画するシステムを完成させた。本システムは、従来の類似のシステムで見られたような回旋に伴う自己遮蔽にロパス

トであるだけでなく、システム雑音、運動による装着センサのずれ、ひとつの関節でも多自由度を持つことによる関節中心点推定の困難さ、などの問題を解決している。現在は、3種類以上の運動データが同時に内挿・外挿できるように機能拡張を図っているのと並行して、離散運動の内挿と外挿が可能なシステムの開発を目指している。

項目cでは、特別な周辺機器などを使わなくても実時間でヒト手指3次元動作の自動追跡と、手指形状推定が可能なシステムを設計した。同システムは演算速度も速く、比較的良好な追跡精度を達成できた。ただし、単眼カメラによる処理であるため、手指3次元形状推定のうち「手首の回旋」が実用に供する程度までに実現できていない。近い将来、見まねによるヒト型ロボットハンドの動作再現と創発を目指しているため、現在、手首回旋に対しても十分な精度で推定可能な手指形状認識システムの設計を始めている。

項目dでは、単眼カメラによるヒト上肢3次元運動の推定と実時間CG描画システムの開発を実現した。同システムでは、人間の視覚系で採用している拘束条件や知識と、ベイズ推定を基礎とした過去の運動情報の利用により、簡素な処理系でありながら実用に供する演算速度と精度を達成できた。現在、同システムの出力によりヒト型ロボットアームを制御するシステムを設計中である。

項目eでは、ヒト上肢と同じ大きさや重さ、筋-骨格構造、主働筋-拮抗筋構造、非線形な収縮特性を持つアクチュエータを採用したヒト型ロボットアーム2種類を設計・試作した。1号機はゴム製人工筋を、2号機はエアシリンダを、それぞれアクチュエータとして採用している。両機とも、ヒト脳における運動制御の機構を計算論的神経科学の観点から検討するには有用なハードウェアと見なすことができる。ただし、設計と並行して乳幼児の原始反射の計測を行い、ヒト運動機能発達過程を実験的に検討する試みも実施したが、3年間というプロジェクト期間の、しかも後半1年半での実機の設計試作と実験は時間的に不十分であり、とくに制御実験を十分に行うことができなかった。

項目fにおいては、ヒトの手指と同じく5指で、大きさと重さも等しく、しかも拇指以外の4指どうしの開閉(アブダクション)が可能なヒト型ロボットハンドを設計・試作した。アブダクション機能を付加できたので、モノを掴んだり操作したりするハンドから、手話やジェスチャー、舞踊動作のように「手指の動作を通して情報発信できる」ハンドが実現できた。現在、非接触によりヒト手指の3次元動作をほぼ実時間で再現できる見まねロボットハンドシステムの開発を推進中である。

5. 領域総括の見解

人間の身体運動のメカニズムを研究し、中枢神経がどのような評価関数によって運動指令の生成を行っているかを解明することに成果をあげ、同時に情報科学、情報工学における極めて大きな貢献をした研究であり、高く評価できる。今後の研究の発展が重要な実用的応用に繋がることが期待できる。

6. 成果リスト

6.1 学術論文(投稿中を含む)

- ・星野 聖, 神里志穂子, 新垣武士: "「超・印象」を与える動作の創発: 舞踊における運動と印象の関係性の定量化", インタラクティブシステムとソフトウェア, 24, 8, pp.45-50 (Dec. 2000)
- ・小渡 悟, 星野 聖: "ヒトの視覚系に基づく時系列画像中の注視物体追跡", インタラクティブシステムとソフトウェア, 24, 8, pp.147-152 (Dec. 2000)
- * 星野 聖, 新垣武士, 小渡 悟, 神里志穂子: "2つの動作の内挿外挿表現を合成するCGAシステム", インタラクティブシステムとソフトウェア, 27, 9, pp.95-100 (Dec. 2001)

- ・新垣武士, 星野 聖: "主観的印象を生み出す舞踊CGアニメーションツールの開発", 映像情報メディア学会誌, 査読中
- ・星野聖, 小渡悟, 神里志穂子, 新垣武士: "自己遮蔽にロバストな上肢3次元運動推定", 映像情報メディア学会誌, 査読中
- ・小渡悟, 星野聖: "単眼動画像からの掌の軌道と形状推定による実時間ジェスチャ認識", 電子情報通信学会論文誌, 査読中

6.2 国際会議

- ・K.Hoshino: "Multivariate autoregressive analysis of Okinawan Kachaasii dance", Proc.1998 Intl.Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 6, 3, pp.1257-1260 (Sep. 1998)
- ・K.Hoshino: "Contingency of arm-joint movements in Okinawan dance", Proc. Intl. Symposium on Frontiers of Time Series Modeling, 4, 1, pp.360-361 (Feb. 2000)
- ・S.Kamisato and K.Hoshino: "Evaluation of subjective impressions and motion characteristics in a free-style dance", Proc. Joint Intl. Workshop of the Operations Research Society of Japan, 2, pp.309-314 (June 2000)
- ・S.Odo and K.Hoshino: "Real time tracking based on retino-cortical mapping", Proc. IEEE Robot and Human Communication, 9, pp.47-51 (Sep. 2000)
- ・T.Arakaki and K.Hoshino: "Dance CG animation producing subjective impressions", Intl. Sympo. KANSEI 2001, pp.169-172 (Oct. 2001)
- ・S.Odo and K.Hoshino: "Tracking of target object in sequential image based on visual characteristics", Proc.2001 Intl.Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp.179-182 (Oct. 2001)
- ・S.Kamisato and K.Hoshino: " Relationship between characteristics of human motion and subjective impressions in dancing ", Proc.2001 Intl.Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp.545-548 (Oct. 2001)

6.3 特許

- * 星野 聖, 川淵一郎: 人型ロボットハンド, 特願2001-316828, 出願日2001年10月15日
- ・星野 聖, 川淵一郎: 人型ロボットアーム, 特願2001-379413, 出願日2001年12月13日
- ・星野 聖: 舞踊CGアニメーション合成システム, 2002年2月上旬に出願予定

招待講演

- ・映像情報メディア学会「舞踊のモーションキャプチャ」(1998)
- ・日本オペレーションズ・リサーチ学会「新しい舞踊の創造のために脳で採択された評価関数の検討」(1999)
- ・電子情報通信学会「ヒューマンコミュニケーション基礎」研究会「ヒト型ロボットアームによる舞踊動作の創発」(1999)

研究課題別研究評価

1. 研究課題名: 超広域高性能計算環境の基礎的研究

2. 研究者名: 松岡 聡

3. 研究のねらい:

科学技術一般において、計算機を用い、従来には不可能だと思われていたレベルの計算パワーを湯水のように使ういわゆる E-Science の要求が高まっている。これらは、TeraFlops 級の大規模計算およびデータ解析用の数百 Tera ~ Peta バイト級のストレージのニーズがあり、分野としては高エネルギー物理、原子力、量子コンピュータ設計、量子化学、分子レベル設計、オペレーションリサーチ、など、多岐にわたる。例えば、計算化学により抗がん剤の創薬には数十 TeraFlops の計算能力が必要とされており、高エネルギー物理学において新世代の加速器のデータ解析にはペタバイト級のオンライン(テープではない)ストレージが必要とされる。

一方、従来の大学の計算機センターなどを中心としたスパコン群は、新世代の E-Science のアプリケーションをサポートするには計算およびストレージ両面にわたり能力的に不十分で、かつ圧倒的にコストが高い。特に、ストレージに対しては最上級の計算機センターでもようやくテラバイト級のオンラインストレージが提供される程度であり、これらの E-Science の要求とは数千倍の開きがある。従って、従来型のスパコンを多少増強しても全く意味が無く、新たな先進的技術による学内の E-Science の手法とそのインフラが必要である。

世界的には、莫大な数の計算機を超高速ネットワークで結合することによって、超高性能計算(HPC)を分散的かつ仮想的に実現する超広域高性能計算手法、いわゆる「グリッド(Grid)」が上記の問題解決手法として注目されている。特に米国ではこの 2-3 年間で急速に研究開発が進み、NGI および Internet2 などの超広帯域次世代インターネットと呼応して、急激にハード、ソフト、ストレージ、および人的なインフラの整備が進行していて、各国立研の連携研究の N S F Alliance/NPACI/ TeraGrid/ iVDGL/GridCenter、DOE の DOE2000/DISCOM、NASA の IPG などの Grid の国家プロジェクトに莫大な研究資金がつかぎ込まれ、TeraFlops 級のインフラが構築されている。欧州では、CERN を中心に EU DataGrid プロジェクトにおいて 10Peta バイト級の加速器のデータ処理を行うための Grid の研究開発をはじめ、E-Science 実現のために Grid 計算を最重要研究開発課題の一つと位置付けている。わが国のメーカ・大学・研究所はこの流れからは取り残されてきたが、近年ようやくその重要性が諸方面で認識されつつある。

本研究では、グリッドに関する諸基礎技術、特に PC 技術を主体とするコモディティテクノロジ中心の基礎的なテーマを扱い、それらを次世代の高性能計算としての「コモディティグリッド」によるテラスケール計算基盤の礎とすることを目的とする。具体的なテーマは、グリッド上の有効なプログラミングモデルやプログラム言語の構築のみならず、定量的な実行モデルやシミュレーションモデル、さらには実際の性能予測のための並列シミュレータの開発を狙う。また、コモディティグリッドの資源としてのコモディティクラスタの構築技術を探求し、それを基盤にさらにシミュレーションの並列実行、さらにはグリッドアプリケーション用のテストベッド開発を目指す。このために、計算資源たるクラスタの計算資源・負荷・ネットワーク接続速度・計算ライブラリの利用可能性などの情報収集および予測、計算の適切な負荷分散アルゴリズムおよびシステム、計算環境の仮想化技術、さらには広域のグリッドのテストベッド構築および管理技術などが必要となる。これらの基礎的技術の構築により、21 世紀の新たな

広域計算インフラが構築可能となる。

4. 研究結果及び自己評価:

研究結果

本研究では、グリッド(グローバルコンピューティング)の定量性のある基礎的モデルを確立し、その有効性を検討することを目指し、GridRPC と呼ぶグリッド上のタスクパラレルのプログラミングモデルの確立、および GridRPC の定量的な性能モデルの提案並びにシミュレーションを行った。さらに、グリッドの計算資源としての大規模 PC クラスタの構築を行い、数理最適化やゲノム関係のプログラムのグリッド上での稼働を行った。特に近年ではグリッドの基本的な計算資源として PC クラスタ計算機の研究も推進しているが、本研究では Presto Cluster I, II, III と三台の大規模クラスタを構築し、600 プロセッサ以上、合算ピーク性能 800GigaFlops を達成した。これは、東工大の計算機センター(GSIC)の二倍にもあたる計算パワーであり、また、Presto IIIは実性能でも当初 77.4GigaFlopsを達成して、世界最速の計算機の公式リストである Top500 の 2001 年 6 月版に 439 位にランキングされ、さらに 2001 年 10 月においては改良により 331.7Gigaflops の性能に達した。これは最新の 2001 年 11 月版の Top500 では現状で 86 位で、PC クラスタとしては世界で 4 位に入るものである。クラスタ上でグリッドのソフトウェアの基本構築技術の研究も行い、特に Presto Cluster を用いて定量的モデルに基づいたグリッドの大規模なシミュレーションを行った。また、実際の性能計測が可能となるテストベッドおよびツール群 RealGrid の研究開発を行い、実環境の定量的性能評価、およびシミュレーションとの比較を行った。また、東工大内部および UCSD と協力して Grid 上での並列アプリケーションを Presto Cluster 上で実際に稼働させ、実問題で有効な結果を得た。さらに、高エネルギー物理学研究所と電子総合技術研究所とともに、2005 年から CERN の LHC 加速器から出力されるペタバイト級のデータ処理を Grid 技術を用いて行う Grid DataFarm プロジェクトをスタートさせた。

その他、様々なグリッドの研究成果をあげたことが評価され、国際的な Grid 構築の活動のため、Global Grid Forum の Steering Committee (実行委員)委員として選出され、Global Grid Forum の Advanced Programming WG の担当として、幾つかのプログラミングモデルに関する White Paper を GGF で出版し、性能モデルや測定に関する講演を行っている。

自己評価

成果は上記に述べたとおりであり、かつ詳細は報告書にある。

自己評価としては、総括的・客観的に見ても、本さきがけ研究は当初の目的を遥かに上回る成果を達成し、大変満足しており、かつ研究分野的に我が国のグリッド研究全体の立ち上げ、並びに国際的な活動に大きな貢献をしたと述べたい。

成果は上記に述べているが、これらによる分野的ならびに社会的なインパクトは大きく、研究開始時にはほとんど知られていなかったグリッドというキーワードおよび研究分野が一般的な市民権を得たと感じられる。

上記に述べたが、当初は Presto Cluster は性能評価およびシミュレーションのみに用いる予定であったが、下記に述べる実際のクラスタおよびグリッドアプリケーションを共同研究でターゲットすることにより、世界 4 位の PC クラスタ計算機、並びに大学の情報系の研究室としては世界唯一であろう莫大な計算インフラを構築し、その技術を獲得できた。すでに研究室では東工大の計算機センターのスパコンを完全に凌駕する計算パワーを有しており、後継プロジェクトでは世界一の PC クラスタ、並びに我が国では 5-6 位(世界では 20-30 位程度)のクラスタが構築できる予定である。並びに、クラスタの

ミドルウェアの研究を種々行うことが可能になり、研究の幅が大幅に広がった。

当初の予定より、遥かに多くの外部のアプリケーションならびにグリッドシステムの研究者と共同研究を行うことができた。特に、OR では世界記録を幾つか達成し、また高エネルギーの分野では情報分野と高エネルギー物理学者が「史上はじめて」本格的な共同研究を行う体制の一端を担うことができた。また、Global Grid Forum に対しても、我が国から技術的に貢献し、それが認められることにより体制づくりの重要なパートナーとして迎え入れられた。これらにより、他分野並びに海外からの本プロジェクトならびにさきがけに対する評価を最終的に大変高いものにできたと信ずる。

グリッドおよびさきがけの研究に関して、内外の様々なシンポジウムやセミナーなどで、基調講演や招待講演を行った。種類のマスコミの取材を受け、テレビ・ラジオなどに出演し、グリッドおよびさきがけ研究のPRを(一部)行うことができた。

- テレビ: NHK 「クローズアップ現代」
- テレビ: NHK 教育「サイエンスアイスペシャル」
- テレビ: CS コンピュータチャンネル (PRESTO Cluster を中心としたさきがけ研究のプロジェクトの紹介)
- ラジオ: BBC World ラジオ (グリッドに関するラジオ)
- 日経コンピュータ、日経新聞など、各種新聞・雑誌
- AMD 社の Presto III に関する全世界プレスリリース、および ZDNet, Yahoo などのインターネット系海外マスコミによる記事

などである。

また、米国 Computerworld 誌が主催する、米国の一般情報ビジネス系の大きな賞である Computerworld Honors Program を Presto Cluster の功績により 2002 年 4 月に受賞することになった。

これらの活動により、松岡は平成 13 年より、東京工業大学・学術国際情報センターにおいて Grid および HPC 技術の研究を推進する教授職に昇進した。引き続きセンターにおいて、グリッド化の推進プロジェクト提案などを行い、平成 13 年度補正予算で我が国ではじめてセンターにグリッドのインフラの予算として「東工大キャンパスグリッド」(約 2 億円、800 プロセッサ/1.2TeraFlops のキャンパス内グリッドインフラ)が認められた。また、米国の二大グリッドセンターの一つである NSF San Diego Supercomputer Center (SDSC) とグリッド研究における包括的な MOU を結ぶことを我が国の計算機センターとしてはじめて行ったなど、数々のセンターとしての成果につながっている。

5. 領域総括の見解:

高性能計算を超広域で行う計算機システム構築に必要な多くの基礎技術を確立し、また、計算機システムを開発し、世界的レベルの性能評価値を得たことは高く評価できる。超広域高性能計算環境の研究は米国が進んでおり、わが国においても大変重要な研究テーマとなっているが、松岡聡はすでにそのリーダーの一人となっており、今後の研究発展が期待される。

6. 主な論文等:

- T. Suzumura, T. Nakagawa, S. Matsuoka, H. Nakada, and S. Sekiguchi. Are Global Computing Systems Useful? Comparison of Client-server Global Computing Systems Ninf, NetSolve Versus CORBA. In Proc. 14th IEEE Intl. Parallel & Distributed Processing Symp., IEEE Computer Society Press, pp. 547-556. 2000.

- Satoshi Matsuoka, Hidemoto Nakada, Mitsuhsa Sato, Satoshi Sekiguchi. Design issues of Network Enabled Server Systems for the Grid, Proc. GRID'2000: International Workshop on Grid Computing, Bangalore, India, Springer LNCS 1971, pp.4-17, Dec. 2000 (Invited paper).
- *Henri Casanova, Satoshi Matsuoka, and Jack Dongarra. Network-Enabled Server Systems and the Computational Grid. Proc. High Performance Computing Symposium (HPC'01), Advanced Simulation Technologies Conference, April 22-26 in Seattle, Washington (USA), 2001.
- *Atsuko Takefusa, Satoshi Matsuoka, Henri Casanova, and Fancine Berman. A Study of Deadline Scheduling for Client-Server Systems on the Computational Grid. The 10th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC10), IEEE Computer Society Press ,pp. 406--415, Aug. 2001.
- Toyotaro Suzumura, Satoshi Matsuoka, and Hidemoto Nakada. A Jini-based Computing Portal System, Proceedings of IEEE/ACM Supercomputing '2001, IEEE Computer Society, Denver, Colorado, Nov. 2001 (to appear, CD-ROM Proceedings).

研究課題別研究評価

1. 研究課題名：エキスパートの情報処理モデルの構築

2. 研究者名：松原 仁

3. 研究のねらい

人間のエキスパートは解くべき問題を見た瞬間にどこがポイントかを的確に判断することができる。これはいわゆる「直感」と呼ばれている能力であるが、エキスパートがエキスパートである所以はこの直感能力にあるとすることができる。コンピュータは網羅的しらみつぶしの探索は得意であるが、直感能力はまったく有していない。これからロボットやコンピュータをさらに人間にとって使いやすいものにしていくためには、なんらかの直感能力を持たせるようにすることが重要と考えられる。コンピュータに直感能力を持たせるために少しでも知見を得たいというのが本研究の動機である。

本研究では対象として将棋を選択した。将棋のプロ棋士がもっぱら中盤で膨大な選択肢の中から適切な候補手だけを選び出す過程を分析し、そのプロセスをモデル化することが本研究の目的である。

4. 研究結果及び自己評価

本研究は、スタート時点で1)将棋のプロ棋士の情報処理過程を実験によって調べる、2)その実験結果をもとにコンピュータモデルを作成する、という二つのサブカテゴリーに分割したが、研究としての独自性をより明確にすべきであるという指摘を受けたことならびに実験に予想以上の時間を要するとわかったことにより、焦点を(1)に絞って研究を行なった。研究成果は以下の通りである。

1)将棋を対象とした認知心理実験を世界で初めて実施し、記憶実験においてチェスの結果の追試を行なった。具体的な実験手段としては、アイカメラ、プロトコル分析、インタビュー、棋譜解析などを用いた。実験の結果、将棋でもチェスと近い結果が得られることを確認した。

2)記憶実験を通じ、プロ棋士の情報処理過程において局面の認識の過程、局面を記憶する過程、局面にふさわしい次の一手を考える過程が独立ではなく相互に密接に関係していることを明らかにした。

そこで次の一手を考えるという実験を本格的に行なった(チェスでは一部行なわれてはいるものの深く追求されていなかった)。その結果、チェスなどの先行研究で言われていた空間的(視覚的)チャンクの存在以外に必然的な一連の指し手の塊がチャンクを成していることを見出した。特に将棋のプロ棋士の情報処理過程においてこのチャンクは本質的な役割を果たしていることがわかった。このチャンクを時間的チャンクあるいは因果的チャンクと名付け、その性質を調べた。チェスのプロ棋士も当然因果的チャンクを利用しているはずだが、将棋に比べてゲームとしてやさしいチェス(将棋にある持駒制度がチェスにはない)では空間的チャンクだけで説明がついてしまったものと思われる。

3)将棋のプロ棋士がある局面で膨大な選択肢の中から直感的に数手の候補手を思いつくという思考プロセスは、彼が持つ空間的/時間的チャンク集合の中からその局面と照合するものを選び出すプロセスである、という知見を得た。この知見は一見自明であるが、これまで研究がまったく行なわれていなかったために証拠が存在しなかった。本研究でこの知見を支持する多数の証拠が得られた。

自己評価

当初はプロ棋士の思考方法の分析とそのコンピュータモデル化の両方を同じぐらいのバランスで研究しようとしていたが、研究としての独自性をより明確にすべきであることがわかり、またプロ棋士の思考方法の実験とその分析に予想以上の手間がかかることがわかったため、焦点をプロ棋士の思考方法の分析に当てることにした。将棋を対象とする初めての認知心理学研究として新しい成果を数多く得ることができ、チェスなどの先行研究で陽に言及されていない因果的チャンクの役割を明らかにしたという意味では大きな成果があったと考えている。コンピュータモデル化の方は、プロ棋士がある局面で直感的に思いついた数手の候補手を記憶しているチャンクという形で呼び出すようなプログラムを作った。これはたとえばS八段がこの局面で思いついた候補手と同じ候補手を思いつくプログラムと言うことはできるが、当たり前なこと、プロ棋士の思考プロセスを後からなぞったにすぎない。未知の局面でプロ棋士が直感的に思いつくであろう数手をそのプログラムは思いつくことは残念ながらできない。その点で最初の計画からすると大いに不満が残る。

認知心理学的研究の方も実験環境の設定、実験計画の策定、被験者の獲得、実験自体、実験結果の分析に当初の予定よりもはるかに長い時間を要した。これは見込みの甘さのためと反省している。この研究が終了後も引き続き部屋を借りて実験を行なっている。実験に多くの時間を要したため本研究の主要な研究成果をまとめた論文の完成が期間内に間に合わなかったことも反省材料である。

今後はさらに実験を重ねて因果的チャンクの詳細を明らかにするとともに、この知見を生かして

- 1) 将棋の分野では人間のように思考するコンピュータ将棋を作成してプロ棋士に勝つことを目指す
- 2) 将棋以外の分野のエキスパートについても実験を行ない、将棋で得られた知見がどの程度一般的かを明らかにする。

を行なっていきたい。

5. 領域総括の見解：

計算機が直観力を持つとはいかなることかを解明するため、また、これからのロボットや計算機をさらに人間にとって使いやすいものにしていくためにはなんらかの直観力を持たせることが重要と考え、将棋のプロ棋士に研究の焦点をあてて、将棋のプロ棋士がもっぱら中盤で膨大な選択肢の中から適切な候補手だけを選び出す過程を分析し、そのプロセスをモデル化することに成功したことは評価できる。

6. 主な論文等：

- Reijer Grimbergen, 松原 仁: Plausible Move Generation in Two-player Complete Information Games Using Static Evaluation, 人工知能学会誌, vol.16,no.1, 2001
- Reijer Grimbergen, 松原 仁: Planning to Guide Opening and Middle Game Play in Shogi, 人工知能学会人工知能基礎論研究会(第42回) pp.19-24,2000
- 伊藤毅志, 松原 仁, Reijer Grimbergen: Human perception of shogi positions: preliminary results, 情報処理学会第4回ゲーム情報学研究会 2000年10月
- 松原 仁: コンピュータ将棋の次の一手問題による評価(その2), 情報処理学会第5回ゲーム情報学研究会,2001.
- Takeshi Ito, Hitoshi Matsubara and Reijer Grimbergen: The use of memory and causal chunking in the game of Shogi, Proc. of the third International Conference on Cognitive Science, 2001.

- * 松原仁，伊藤毅志，Reijer Grimbergen: 将棋の認知過程の研究(1)，情報処理学会論文誌，
- * 伊藤毅志，松原仁，Reijer Grimbergen: 将棋の認知過程の研究(2)，情報処理学会論文誌，
- 松原仁： 人間の思考とコンピュータの思考(仮題)，講談社現代新書，執筆中

研究課題別研究評価

1. 研究課題名： 自律最適化を支援する資源割り当て方式の研究

2. 研究者名： 松本 尚

3. 研究のねらい

単体の計算機の能力を越えた性能を安価に実現するために、複数の計算機を一つの大きなシステムとして使用する計算機クラスタシステムが実用化されつつある。計算機クラスタシステムは、オフィスや研究所にある計算機を安価な標準品のネットワークによって接続して構成される。このクラスタシステムの上で効率良くかつ公平に仕事を行うことを可能にする計算資源の割り当て方式を構築することが本研究の目標である。

4. 研究結果及び自己評価

研究結果

- 1) 各アプリケーションプログラムが自己責任で負荷分散スキームを決断する自由市場原理に基づくスケジューリング方式 (FMM方式: Free Market Mechanism方式) を提案した (*1)。 FMM方式は中央集権的なシステム提供のスケジューラを必要とせず、各マシンレベルで公平性を保つことができる。各マシンレベルの資源競合においてプロセッサ以外の資源競合をプロセッサスケジューリングに反映させることにより、通信やメモリの競合も考慮に入れた公平な資源割り当てが実現できる。
- 2) 上記FMM方式をオペレーティングシステムに実装して有効性を実証するために、研究者が以前より研究開発していたSSS-COREオペレーティングシステムをSun Microsystems社のUltra60に移植し、その上にマイグレーション機能を新規に実装し (*3)、FMM方式を実現した。
- 3) イーサネットの競合回避アルゴリズムであるCSMA/CDからヒントを得たユーザレベルのスケジューリング戦略を考案して (*1)、ライブラリとしてSSS-COREオペレーティングシステムに実装した。
- 4) レイトレーシングとポリゴンレンダリングの2種類の並列画像生成アプリケーションを作成し、上記ユーザ戦略を使って、SSS-CORE上でFMM方式における資源割り当ておよび負荷分散がうまく行くことを実証した。
- 5) FMM方式はプロセッサのみではなくI/O装置を過剰に使うタスクに対してペナルティを課することで、マシン内での公平性を維持しているため、FMM方式はユーザレベルでI/O装置が直接制御できて、I/O装置を高頻度かつ大量に使用する高性能システムの制御に向いている (*1)。そこで、ユーザレベルで直接制御できてマルチタスクに対応可能なユーザレベルI/Oアクセス方式を考案して (*2)、その方式に基づいたマルチメディア対応高速通信カードを設計開発した。

自己評価

- 1) 各アプリケーションに適した資源割り当てを実現するために、市場メカニズムに見られる自由競争原理を計算機の資源管理に導入した。研究者の研究以外にもマーケットドリブンの名乗っている資源管理方式もあるようであるが、それらは入札等の手続きを使うもので、筆者の考案したシステム全般にわたる調停者がまったくいない資源管理システムとはまったく異なるものである。システム全般の状況が低コストで把握できる情報開示機構と各マシンにおけるローカルかつ公平なスケジューリングの組み合わせで実用性のある分散並列システム用の資源管理システムを構築できたことは大きな成果であると考えている。
- 2) マシン内のローカルなスケジューリングに関しても、「使用要求が飽和している資源に関して使用要求を多く出しているタスクにペナルティを課す」という非常に単純な指導原理でプロセッサのみではなくI/O装置まで含めたスケジューリングの公平性を実現したことの意義は大きいと考えている。
- 3) I/O装置を高頻度で使用するシステムにも適用するため、低コストでアクセス可能でありマルチタスク対応可能なマルチメディア対応高速通信カードを自ら作製したのは、ちょっと手を広げすぎであったと反省している。過去に自分で行ったプロジェクトの成果を流用しているとは言え、MPEG2処理LSIの部品入手等に非常に手間取って、FMM方式の実証テストを研究期間内に十分に行う余裕がなくなってしまった。ただし、このカード開発の元となったユーザレベルI/Oアクセス方式の発明は次の研究課題「高性能組込マイクロプロセッサ」への大きなステップになったため、カード作製を計画したことは結果的には非常にプラスではあったと現時点では考えている（計画期間的には無謀だった）。
- 4) クラスタ用の自作汎用オペレーティングシステムを64bit化して、最新鋭機に移植して、マイグレーション機能を追加して、FMM方式を実装した。その一方で、マルチメディア対応高速通信カードのハードならびにソフトの設計と開発を行った。研究期間内にFMM方式の実証試験ならびに評価が十分に行えていない点と、通信カードの全機能がまだ使えていない点（ファームとドライバのソフトが未完成）は、当初計画とは異なるが、FMM方式に関してより深い理解を得て、実用レベルのシステムに実装できたので、当初予定の一番大きな目標は達成できたものと考えている。ユーザレベルI/Oアクセス方式が次の研究に結びついたのみではなく、さきがけで作成したマイグレーション機能からSSS-COREのノンストップコンピューティング化という新たな研究開発課題への広がりが生まれ、こちらも現在プロジェクトが進行中である。さきがけに参加できたことは、他の研究者たちからの刺激も含め、私の研究者人生にとって非常に価値があったと考えている。

5. 領域総括の見解

計算機アーキテクチャにおけるプロセス等の計算資源の効率的利用に関する新しいアルゴリズムを開発し、効率よくかつ公平に仕事を行わせることを可能する計算資源割り当て方式をモデル化し、設計し、実装したことは高く評価できる。アーキテクチャ分野の若手研究者として今後の研究発展が期待できる。

6. 主な論文等

- * 1 ・松本 尚, 平木 敬: 自由市場原理に基づくスケジューリング方式. 電子情報通信学会研究会報告, Vol.99, No.251, pp.63--70 (August 1999).
- * 2 ・松本 尚: アクセス方法及びアクセス処理プログラムを記録した記録媒体. 科学技術振興事業団, 特願平11-255272 (September 1999).
 - ・松本 尚: プロセッサ. 科学技術振興事業団, 特願平11-354203 (December 1999).
 - ・Sasaki, S., Matsumoto, T., Hiraki, K.: On the Schedulability Conditions on Partial Time Slots. Proceedings of 6th Int. Conf. on Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA'99), pp.166--173 (December 1999).
 - ・松本 尚: NICを活用したネットワークRAID方式の提案. 情報処理学会研究会報告 Vol.2000, No.74, pp.79--84 (August 2000).
 - ・大平 怜, 松本 尚, 平木 敬: 汎用クラスタ上の資源情報を用いた HTTP サーバにおける負荷分散性能の評価. 情報処理学会研究会報告 Vol.2000, No.75, pp.31--38 (August 2000).
 - ・松本 尚: 高性能組み込み用プロセッサアーキテクチャの検討. 電子情報通信学会技術研究報告, CPSY, Vol.100, No.248, pp.17--24 (August 2000).
 - ・田中 清史, 松本 尚: 実時間処理 RISC コア Casablanca の評価. 電子情報通信学会技術研究報告, CPSY, Vol.100, No.248, pp.25--32 (August 2000).
- * 3 ・Matsumoto, T.: A Study on Memory-Based Communications and Synchronization in Distributed-Memory Systems. Dissertation Thesis, Graduate School of Science, University of Tokyo (February 2001).
 - ・丹羽 純平, 松本 尚, 平木 敬: ソフトウェアDSM機構を支援する最適化コンパイラ. 情報処理学会論文誌 Vol.42, No.4, pp.879--897 (April 2001).
 - ・松本 尚: メモリベース通信ファシリティの評価. 電子情報通信学会技術研究報告, CPSY, Vol.101, No.329, pp.31--40 (October 2001).

研究課題別研究評価

1. 研究課題名: 近未来の並列処理に適した実装用言語

2. 研究者名: 八杉 昌宏

3. 研究のねらい:

プロセッサ間結合方式の異なる様々な並列計算機上で、信頼性・再利用性・実行効率の高いソフトウェアを作成するには、並列処理のための高水準プログラミング言語が必要である。また近い将来製造可能となるオンチップマルチプロセッサなどにおける新しい細粒度のスレッド管理方式や通信・同期方式を高水準言語実装で利用する必要がある。一般に高水準言語コンパイラの実装には言語階層を用いる。特にC言語を経由することで、低レベルの最適化やレジスタ割り付けなどの処理をCコンパイラに担当させることができる。しかしながら、C言語は本来逐次処理用の言語であるため、並列処理のための実装用言語として用いるには記述性・実行効率ともに問題がある。本研究では、並列処理に適した実装用言語をC言語に拡張することにより開発する。特に最適化されたコード内での他のプロセッサからの要求と自プロセッサの処理の細粒度多重実行を実現する。

4. 研究結果及び自己評価:

(概要) 本研究では、C言語を改良・補強したよりよい言語仕様をもつ並列処理に適した実装用言語を目指して並行協調拡張C言語 XC-cube を設計した。具体的には、そのような協調のための機能として(1)プロセッサ間で通信・同期をするための機能、(2)仕事(計算)の実行手順の調整機能、をどのように言語仕様に加えていけばよいかの研究を行った。また、XC-cube 言語の実装 (XC-cube 言語から機械語へのコンパイル手法) つまり、XC-cube で追加した機能を効率よく実現する手法について研究した。さらにXC-cube 言語の利用 (高水準言語からXC-cube 言語へのコンパイル手法)についても研究を進めた。

(通信・同期機能) 従来のC言語では、Dekkerのアルゴリズムによる排他制御等が効率よく記述できないばかりでなく、データ領域とその領域への書き込み完了を表すフラグを用いるような単純な同期でさえ効率よく記述できない。C言語のレベルで提供されるべき仮想機械のモデルが直接提供されておらず、逐次計算機用のCコンパイラが翻訳したコードが並列計算機上に動いているという変なモデルをCプログラマが考えなくてはならなかった。本研究では、通信・同期について、共有メモリ概念に基づいてXC-cube言語レベルでこれを記述する方式を提案した。実行主体間で通信・同期をするための機能として、共有メモリ向けプリミティブを一通り設計した。(1)メモリ操作完了順序を指定するメモリバリア用プリミティブ、(2)粒度保証同期変数アクセスプリミティブ、を提供する。さらによく使う機能として(3)ロックのプリミティブを提供する。

通信・同期機能の実装については、最初のステップとしてあるいは普及の戦略として、これを組み込んだXC-cubeコンパイラを開発する前に、GNU Cコンパイラの拡張機能を利用したプリミティブの実装を行った。Alpha MIPS Pentium PowerPC SPARC-V9といった現在代表的なプロセッサアーキテクチャ/マルチプロセッサシステムの仕様の詳細なサーベイを行い、対象とした。

XC-cube 言語の通信・同期機能を利用することで、さまざまな高速な同期が C 言語上で記述できるようになった。

(実行手順の調整機能) 従来、呼び出し中に呼び出し元は見えなかったが、各プロセッサが、他のプロセッサとの協調のために、一旦、呼び出し元にさかのぼって自身の(元々設定した目標に従って)やりかけの処理さえも変更可能とする言語機能を提案した。本研究では、各手続きには、半固定化された高速な実行手順以外に「普段は使わないが、いざというときのための手続き」を含ませておく。この手続き中の手続き(入れ子手続き)が呼び出されたときに「元手続きがどういうふうにやりかけであったか」が分かるようになっていけばよい。これで、普段は半固定された手順で高速に実行することを可能とするが、いざというときは、この入れ子手続きを呼び出すことで、やりかけの手続きでさえ見直しを可能とできる。C 言語の場合、手続きのことを関数と呼ぶが、入れ子関数は関数内で入れ子に定義された関数であり、その関数ポインタにより定義時の変数束縛環境を伴う入れ子関数のクロージャを利用することができ、呼出し元での変数にアクセスする手段が提供できる。

入れ子関数は GCC でも実現されているが、入れ子関数の関数ポインタについて、通常の間数ポインタとの互換性のためにいわゆるトランポリンという技法を用いたり、他のプロセッサからも呼び出せるようにするために効率的なレジスタの使用が妨げられるなどオーバーヘッドも大きい。XC-cube では、同等の機能を生成コストなどが少ない軽量クロージャとして実現する技法を開発している。これは、関数ポインタとは別扱いすることでトランポリンなどを不要とするとともに、実際に呼び出されるまでは変数の場所がレジスタ上であってもよいとするものである。

また仕事(計算)の実行手順の調整機能を利用した、遅延タスク生成に基づく負荷分散、マルチスレッドなど、高水準言語が提供すべき機能を実現する手法について研究した。マルチスレッドの実現については、以前から研究していた高水準言語であるオブジェクト指向並列言語 OPA のためのコード生成手法が変換手法の基礎として利用できた。遅延タスク生成に基づく負荷分散、マルチスレッドとも XC-cube 言語を利用すれば効率よく実現できることを示した。

(まとめ) 最終的に、得られた成果の一つは、共有メモリのモデルを C 言語のレベルで与えるにはどうするかということだった。この分野は、元々ハードウェアのレベルで議論されることが多かったが、モデルができあがってから、改めて調べてみると Java 言語においても Java 言語の提供する共有メモリモデルは何かということの研究がされている。ある意味では、似たようなモデルになっているが、逆にいえば、他の言語でもやはりモデルが必要であり、他の言語にも本研究の成果を活かせることがわかる。

もう一つ得られた成果の一つは、入れ子手続きを C 言語の機能として追加しておけば、C 言語のプログラムへうまく翻訳することで、マルチスレッドや自動負荷分散を提供する高水準言語の実装ができることに気が付いたことだった。このアイデアは非常に面白く、この研究で行った並列処理以外にも、ごみ集め、マイグレーション、スタットトレース、一級継続、例外処理、Non-strict 計算など広く応用できる。

今後は、XC-cube 言語処理系を完成させていくとともに、XC-cube 言語を実際に高水準言語の実装に用いたアプリケーションの記述や評価を行う予定である。

5. 領域総括の見解:

C 言語は、本来逐次処理用の言語であり、並列処理の実装用言語として用いるには記述性・実効性に問題がある。八杉昌宏は、並列処理に適した実装用言語を C 言語を改良・拡張することで、この問題の解決を図ったことは評価できる。特に、最適化されたコード内での他のプロセッサからの要求と自プロセッサの処理の細粒度多重実行を実現した。

6. 主な論文等:

八杉 昌宏, 馬谷 誠二, 鎌田 十三郎, 田畑 悠介, 伊藤 智一, 小宮 常康,
湯浅 太一, "オブジェクト指向並列言語 OPA のためのコード生成手法",
情報処理学会論文誌：プログラミング, Vol. 42, No. SIG 11 (PRO 12), November 2001.

*八杉 昌宏, 田畑 悠介, 小宮 常康, 湯浅 太一,
"共有メモリ向けプリミティブとその GCC を使った実現",
情報処理学会論文誌：プログラミング, Vol. 43, No. SIG 1 (PRO 13), January 2002.

*田畑 悠介, 八杉 昌宏, 小宮 常康, 湯浅 太一, "入れ子関数を利用したマルチスレッドの実現",
情報処理学会論文誌：プログラミング, Vol. 43, No. SIG ? (PRO 14), March 2002. (採録予定)

*八杉昌宏, 田畑 悠介, 小宮常康, 湯浅太一,
"入れ子関数を利用した動的負荷分散", 情報処理学会プログラミング研究会, January 2002.

研究課題別研究評価

1. 研究課題名：WWW上を仮説探索する推論システムの構築

2. 研究者名：山本 章博

3. 研究のねらい

ネットワークという高度な情報交換技術が出現した今日において、ネットワーク上には様々な情報が分散している。本研究は、このような情報を知識として取り出し、できる限り目標を特化しながら有効につなぎあわせ、新たな知識を仮説という形で導き出すための基礎技術を開発する。

4. 研究結果及び自己評価

研究結果

- 1) 本研究開始時点までは人工知能研究において仮説を生成する技術は、発想推論(推論アブダクション)と帰納推論(インダクション)とよばれ、それぞれ個別に研究されてきた。本研究では両者を仮説推論という統一的視点に置いた上で、(a) 発想的仮説推論と帰納的仮説推論をそれぞれネットワーク環境に適合させたシステム構成と (b)推論の立場からデータ・知識の共有と交換のための技術を提案した。ネットワーク環境においては、発想推論という名前は必ずしも適切ではなく、補完型仮説推論と呼ぶことにした。
- 2) 補完型仮説推論は、本研究のもととなった「ネットワーク環境上に分散している知識をできる限り目標を特化した上で有効につなぎあわせて手元の問題を解く」に忠実なシステムの実現を行った。母体となる推論システムとして論理プログラム処理系を採用しているが、一般の節論理証明系への拡張も可能である。Web ページを加工して知識を取り出すために、HTML 文書のデータ構造を論理プログラムにおいて直接扱う技術を開発した。従来の論理プログラム処理系はほとんど全て「知らない」問題はその否定が成立することを前提にしているのに対して、補完推論は解けない問題を仮説として認めてしまう。本研究で作成したシステムはこの両者の中間的な立場と考えられる。
- 3) 帰納的仮説生成サーバーを開発し、誰もがデータと背景知識を与えれば様々な仮説を比較検討できる環境を構築した。「仮説とはデータに対する“見方”でありかつ、一つのデータから得られる様々な“見方”を比較検討すべきである」という方針を具体化したものである。サーバーの知識共有方式については、その原点に戻り、中間層を発見の論理とするような 3 層スキーマ構造を採用し、下位層(内部スキーマ)として個々の知識発見システムとその入力データを保持したデータベースとして位置付けた。

自己評価

- 1) この3年間の研究は、紆余曲折があったものの、論理的仮説推論とネットワークという媒体の組合せの具体化とその実現手法の検討、および、プロトタイプ・システムの実装などを行うことができた。これらにより、伝統的分野と最新分野の接続に関して、まだ感覚的なものではあるが一つの視点が得られた。それが本研究の成果である。
- 2) 研究当初は申請時に持っていたアイデアをそのまま実現する方針で補完型仮説推論システムの開発を行ったが、Web ページの知識化と論理への取り込み技術の開発に時間を要し、WWW 情報の即時性を生かすための技術の研究には至らなかった。この点は、真理保全機構の応用というア

アイデアを持っており、今後継続して研究を進める。

- 3) 研究開始後、帰納的仮説推論とネットワークの関係について考察を進めるにつれ、両者がデータベース理論の中で有機的に結びつくのではないかという着想を得た。研究成果としては補完推論と本立てになったが、帰納的仮説生成サーバーはこの着想の具体化であり、論理的仮説推論とネットワークの融合の一つの解であったと考えている。
- 4) 理論的基盤を与えながら技術開発を進めるという研究方針は貫いたつもりである。補完と帰納という仮説推論を統一的に説明しかつ区別するための仮説推論の数学的原理も並行して開発した。その結果、仮説推論と演繹推論の中間種として(古生物の始祖鳥になぞらえて)「始祖学習」とも呼ぶべき推論の存在に行きつき、仮説推論と演繹推論が連続しているという認識を強く持つに至った。これが、まだ形とはなっていない研究成果である。
- 5) 本研究を進めていくうちに、ネットワーク環境下において情報を性悪的に捉えることが研究の根底になっていることが次第に明らかになってきた。具体的に WWW を例に考えれば、確かに WWW による情報公開は速報性に優れ、検索が容易であり、新たな情報交換の場として認識されている。しかし、誰にも審査されず、客観的に評価されていなくても情報公開できることも事実である。そこで、確実な知識がごく一部に限られ、そこから導出される帰結が全て仮説であるような世界で、不確実な推論の接続が全体として確実な方向へ向くような新たな推論原理が必要になる。次世代の推論研究の中心に位置付けたい。

5. 領域総括の見解

推論システムを利用可能な知識が WWW 上に分散して大量に存在する状況において、知識をできる限り目標に特化した形で利用し、もし必要な知識がなければそれを新たな仮説として正当化したうえで、目標問題を解くような新たな形の推論システムを構築するための核となる方式を開発したことは評価できる。特に、合理的な仮説の生成技術は情報化社会において、知識処理技術として重要である。

6. 主な論文等

- (1) Yamamoto, A. : Hypothesis Construction and Network, Joint Seminar on Theories and Applications of Discovery Science, The University of New South Wales, Sydney (1999).
- (2) Yamamoto, A. : Relative Least Generalization Revisited, Second Joint Seminar on Theories and Applications of Discovery Science, The University of New South Wales, Sydney (2000).
- (3) 山本章博 : Herbrand の定理に基づく仮説生成, 2000 年度人工知能学会全国大会講演論文集, 287-290(2000).
- (4) Yamamoto, A. : New Conditions for the Existence of a Least Generalization under Relative Subsumption, Proceedings of the 10th International Workshop on Inductive Logic Programming , (Lecture Notes in Artificial Intelligence 1866), 253-264, Springer (2000).
- (5) 山本章博 : XML 文書を扱う論理プログラミング処理系の試作, 人工知能学会知識ベース研究会資料, SIG-KBS-A003, 67-68(2000).
- (6) 山本章博, 伊藤公人, 石野 明 : 生垣論理プログラミングによる情報の抽出と変換, 2001 年度人工知能学会全国大会講演論文集, CD-ROM(2001).
- (7) Yamamoto, A.: Hypothesis Finding based on Upward Refinement of Residue Hypotheses -extended abstract-, In Proceedings of the Workshop on Logic and Learning affiliated with

LICS 2001 (2001).

- (8) * 菊池敏幸、山本章博：様々な知識発見システムを比較可能にする環境の構築 人工知能学会知識ベース研究会資料、SIG-KBS-A101, 49-55 (2001).
- (9) * Yamamoto, A., Ishino, A., Ito, K. and Arimura, H.: Modelling Semi-structured Documents with Hedges for Deduction and Induction, Proceedings of the 11th International Workshop on Inductive Logic Programming, (Lecture Notes in Artificial Intelligence 2157), 240-247, Springer (2001).
- (10) Yamamoto, A and Fronfoefer, B : Finding Hypotheses by Generalizing Residue Hypotheses, the Work in Progress session in the 11th International Workshop on Inductive Logic Programming, Strasbourg (2001).
- (11) Yamamoto, A.: Hypothesis Finding based on Upward Refinement of Residue Hypotheses, to appear in Theoretical Computer Science.
- (12) 菊池 敏幸、山本 章博：様々な発見の論理を統一的に利用可能な環境の構築 人工知能学会誌