科学研究費補助金「特定領域研究(Ｂ)」
平成１０年度発足特定領域申請書

申請領域名

新しいパラダイムとしての アルゴリズム工学: 計算困難問題への挑戦

申請代表者
京都大学・工学研究科・教授
茨 木　俊 秀

1　申請領域の研究の必要性

本申請領域が公募要領 1(2) のすべての項目に該当することを説明する。説明の順序として、次の１．１節では特に②,④,⑤ に該当することを説明し、１．２節では特に③ に焦点を当てる。項目① については、申請領域の発展の可能性を１章で説明し、構成員の学術的水準の高さを２および３章で説明するが、さらに詳細には添付した構成員の研究計画調書（研究業績）を参照頂きたい。なお、今回の申請領域は、アルゴリズムの広範性から、過去に情報科学関係で採択されたすべての重点領域と間接的に関連するといえるが、アルゴリズムに直接焦点を当てた重点領域研究は過去に採択されていない。過去の重点領域との関連は２章でもう少し詳しく説明する。

1.1　研究の目的と必要性 – アルゴリズム工学の提案

社会や産業の日常的な活動の様々なレベルに現れる、生産計画、希少資源の最適利用、環境汚染の最小化、通信回路網の有効利用、飛行機の乗員配備、最適配送計画、最適投資、LSI の自動設計 / 検証など、重要で大規模な問題の多くは、解決に多大な時間がかかるという意味で計算困難な部分を含んでいる。これらを実用的な時間で解き得るかどうかは決して自明ではなく、数学的に高度な知識と工夫が必要である。これらの問題を解決するための具体的な数学的手順は、アルゴリズムと呼ばれている。

アルゴリズムの現実問題に対する重要性を考えると、代表的な計算問題に対する効率的な新アルゴリズムの発見は重大な社会事件である。たとえば、生産計画など、広範な問題を扱い得る線形計画問題に対するカーマーカーの新アルゴリズムが引き起こした様々な事件は記憶に新しい。新アルゴリズム発見のニュースはニューヨーク・タイムズの第一面を飾り、その特許申請はアルゴリズム特許の是非を巡って社会問題に発展した。成立した特許を背景として一台１１億円の高額システムが発売され、ある企業はこれを用いて年間１２億円もの経費節減に成功し、また米空軍の作戦立案能力がこのシステムによって飛躍的に向上した事が湾岸戦争で立証されたとも言われている。冷静にみれば、カーマーカー・アルゴリズムの従来法に対する速度向上比は（わずかに）５０ ~ １００倍程度であるが、実用的に有用であれば、このように大きなインパクトを与え得ることを如実に示したのである。

アルゴリズムの理論は、数学の古典的なテーマの一つであるばかりでなく、計算機の誕生とその後の驚異的な能力の向上をうけて、計算機科学の基礎理論として進歩を遂げてきた分野でもある。アルゴリズム理論と密着してそれを補完する役割を持つ計算理論も、帰納関数論や数理論理学を基盤とする繊細な純粋数学理論として大きく発展してきている。まったく皮肉な事であるが、これらの研究は、上記のさまざまな現実問題に本質的に計算困難な問題が含まれることを理論的に明らかにした。すなわち、それは数学的には NP-困難と呼ばれる筋金入りの計算困難問題のクラスであり、アルゴリズムの有用性を実現するために越えなければならない大きなハードルである。

NP-困難問題を含む、大規模で困難な最適化問題を現実的に解くための方法論は、その重要さが認識されるにしたがって、世界的に集中的な研究が始まり、急速に進歩している。これら工学的視点に立つアプローチには、近似アルゴリズム、確率的アルゴリズム、オンラインアルゴリズム、メタヒューリスティクス、進化的アルゴリズム、並列 / 分散アルゴリズムなど様々な提案があり、最適に十分近い解を短時間で求め得るという意味で、今まで解けなかったような大規模な計算困難問題を実用的に解き得ることが、数多くの研究成果によって確認されつつある。しかし、これらの新しい方法論はようやく検討段階に入ったばかりであって、それらを包括するような新しい工学体系の姿はまだ雲の彼方に隠されている。本特定領

域研究の目的は、工学的技術としてのアルゴリズムという立場を重視し、今日の産業界が抱えている多様な大規模最適化問題を実用的な時間で現実的に解く具体的なアルゴリズムを生み出すとともに、そのための方法論を含めた新しいパラダイムであるアルゴリズム工学を建築することにある。

1.2 研究の緊急性と社会的あるいは戦略的意義

上記のカーマーカー・アルゴリズムの例はアルゴリズムの性能向上が社会に与える衝撃の大きさとともに、アルゴリズム特許が社会に及ぼす影響もよく示している。米国では１９９４年１年間のアルゴリズム特許の成立件数は約２５００件に上り、その後も急増している。離散余弦変換、離散フーリエ変換、画像圧縮法など、今後のソフトウェアの開発に多大な影響を持つ多くのアルゴリズム特許がすでに成立しており、特許を背景に様々な圧力が日本のすべてのソフトウェア開発者にかかりつつある。一例として、大学教官の今野はその著書（中公新書１２７８）で「大学の業務であるクラス編成に（たとえ自作でも）カーマーカー・アルゴリズムを利用する場合には、あなたと東京工業大学を特許侵害で訴える」と言い切られたと、語っている。かつて某カメラ会社が米国の特許に触れて１００億円の賠償金を請求されるという事件があった。このまま推移すれば、近い将来同様のことがソフトウェア領域についても起こり、ソフトウェア開発の停滞を招き、ひいては日本のソフトウェア業界の健全な発展が阻害される事は明らかである。

言うまでもなく、計算機システムにおいてハードウェアとソフトウェアは車の両輪である。日本はハードウェア領域においてはかなり健闘しているが、ソフトウェア領域では米国に少なくとも１０年の差をつけられていると言われている。このソフトウェア資源の差を埋めるにはその根幹をなすアルゴリズムの研究が不可欠である。従来の日本の計算機産業の推進戦略では、その中心は常にハードウェアにあり、ソフトウェアについては関心が薄かったように見受けられる。しかし、カーマーカー・アルゴリズム事件の顛末を観察し、アルゴリズム特許数の推移を考える時、アルゴリズム研究を直ちに集中的に開始し、米国に先駆けた研究成果を出さない限り、米国の優位が揺るがないことは明らかである。これが本特定領域研究の迅速な推進を主張する根拠の一つであり、本領域の進展が特別の配慮を必要とする理由である。

1.3 研究の学術的意義

工学としてのアルゴリズム理論

計算理論は、問題の難易度を理論的に明らかにする事によってアルゴリズムの完成度を測る指針を提供したが、やや短絡的に述べると、その最大の貢献は、NP-困難問題が指数オーダ時間のアルゴリズムしかもたないことの根拠を与えたという否定的な側面にある。（しかし、この問いの厳密な証明は、現在も $\mathbf{P} = \mathbf{NP}$ 問題と呼ばれる有名な未解決問題として残されている。）その結果、実社会に現れる NP-困難問題の現実的な解決に対する意欲を減退させ、「多項式オーダのアルゴリズムは良いが、指数オーダのものは良くない」といった画一的で誤った理解を生む要因ともなった。与えられた問題の難易度によらず、ある時間制約のもとで、できるだけ大きな規模の問題を解くようなアルゴリズムを設計するという工学としてのアルゴリズム研究の視点が疎かにされていたからである。

これに対し、上述の、近似アルゴリズム、メタヒューリスティクス、確率的アルゴリズム、といった新しい方法論は、仮に NP-困難であるような問題であっても、実用的に役立つ解を現実的な計算時間で与えることを目的としている。厳密な最適解を（最適性の証明と共に）得

るのは困難であっても、最適に近い解 (実際に最適である場合も多い) を短時間で求め得るならば、実用的には十分であろう。すでに、この種のアプローチによる数々の成功例が報告されている。アルゴリズム工学の観点から、これはきわめて注目すべき方向であり、この特定領域研究の柱の一つである。

現実社会に即した新しいアルゴリズム研究分野の開拓
アルゴリズム研究の第一の目的は、産業界が抱える様々な問題を具体的に解決すると共に、解決に役立つ様々な概念や理論を用意することである。技術は常に進歩し、新しいシステムが社会に導入されて行く。計算機の世界だけを取り出してみても、並列計算機、ローカルエリア・ネットワーク、インターネット、低軌道衛星通信網、と果てしなく複雑化して行く。新しいシステムには新しい問題が発生し、新しい問題は新しいアルゴリズム分野を生み出す可能性を秘めている。本研究は、並列アルゴリズム、分散アルゴリズム、動的アルゴリズムなど、現在の産業界の要請から生まれつつある新分野を集中的に検討することにより、これらの新分野の確立に寄与する。

アルゴリズム工学の確立
産業界と学界を問わず、計算機利用の巧拙がその盛衰を分ける例が数多く見受けられる。それゆえ、様々な分野において、それぞれ固有の問題を巧妙に解決する方法、すなわちアルゴリズムが求められている。異なる分野が抱える問題は一見異なっており、それらの間に共通性を見い出せないように思えるが、これらの問題も数学的に定式化することによって、いくつかの共通の問題に帰着される。このような共通問題を効率良く解くためのアルゴリズムを研究することによって、アルゴリズムの方法論と技術を体系化し、誰もが容易にアルゴリズムの設計と利用に参加できるようにするのがアルゴリズム工学であり、そのような新しい分野を確立することは社会的に大きな意義がある。

2　申請領域の国内・外の研究状況

国外の研究状況
アルゴリズムは、その普遍性から世界中の様々な分野の研究者によって活発に研究されており、年間軽く１００回を越える国際会議が開催されている。基本的傾向として、ヨーロッパ諸国では理学的側面をより重視した研究が従来から盛んであるのに対して、北アメリカ諸国では最近特に工学的側面を重視しつつある。インド、香港、台湾、シンガポールなどアジア諸国もアメリカ合衆国と同じ傾向にある。ごく最近、アメリカ合衆国の代表的な計算機学会である ACM の理論計算機部門 SIGACT では理論計算機科学と現場のソフトウェア開発の良好な関係について「 理論計算機科学における機会の創造 」など４編の提言集をまとめた。そこでは、理論と応用の架け橋のとなる分野の重要性について述べた後、地球規模分散ネットワーク環境における通信の問題とアルゴリズムデータベースの設立を今後の最重要課題であると提言している (SIGACT NEWS, 28, 3 (September, 1997) 65–102)。これはまさに本申請領域が目指す所であり、一刻も早い計画の実行が待たれている。

国内研究者の活動状況
アルゴリズム領域における国内研究者の活動状況については、すべての話題に触れるだけの紙数上の余裕はないので、そのほんの一端を紹介する。離散最適化アルゴリズムの中では、効率的に解き得る問題の構造を一般的に研究する理論として、藤重悟の劣モジュラ関数理論や室田一雄の離散凸解析などが著名である。一方、NP-困難問題に対しては、実用的な計算時間で良質の解を求めることを目的として様々なメタヒューリスティクスが開発されており、茨

木俊秀や久保幹雄のタブー探索法や遺伝アルゴリズムの研究がある。離散最適化問題に比べ、より具体的な対象を扱うグラフアルゴリズムと幾何アルゴリズムはともに、その応用の広さから最も活発に研究が進められている領域でもあるが、グラフアルゴリズムに関しては、永持仁の最小カットアルゴリズムや渡辺敏正のグラフの連結度増大アルゴリズムなどの研究があり、幾何アルゴリズムに関しては、杉原厚吉の数値誤差に対しロバストなアルゴリズムや浅野哲夫の印刷技術における画像処理アルゴリズムなど、理論的のみならず実用性の高い研究が知られている。SIGACT がその重要性を指摘している並列 / 分散アルゴリズム の研究はようやく始まった所であるが、この分野でも、すでに岩間一雄の通信経路決定アルゴリズムや山下雅史の匿名アルゴリズムの研究がある。以上はいずれもその独創性と重要性において高い評価をうけている研究であるが、これら以外にも数々の興味深い研究がなされており、国内研究者の国際的評価はきわめて高いものがある。

過去の重点領域研究などの関連研究

平成元年以降に採択された情報関連の重点領域研究には、「超並列計算」、「ゲノム情報」、「認知科学」、「創発システム」、「高機能データベース」、「ソフトウェア発展」、「発見科学」などがあり、本申請領域はこれらのすべてと間接的に関わりがある。これは、アルゴリズムの広範性に由来するものであり、アルゴリズムの設計を含まないシステム設計が考えられないことの当然の帰結である。例えば、生物の体を作るタンパク質構造の同定のように情報科学とまったく関係のないような分野でさえ、この問題の困難さが巡回セールスマン問題と呼ばれる有名な NP-困難問題に帰着されるという意味で、アルゴリズム設計の問題と深く関わっている (実際、この問題はグラフアルゴリズムおよび幾何アルゴリズムの今日的な話題の一つである)。繰り返し述べるが、本特定領域研究が目指すのは、例えば (タンパク質の同定以外にも様々な応用分野に現れる) 巡回セールスマン問題を実用的に解くアルゴリズムを設計し利用するための工学を構築することである。アルゴリズムそのものに焦点を当てた重点領域研究は過去には採択されていない。

3　申請までの準備研究・調査状況

以下に述べるような国内外の学会活動および学術誌の編集・発行における研究者の交流の中で、以前からこの種の特定領域研究へ向けての機運が高まっていた。本年に入ってからそれを具体化し、すでに東京、京都などで数回の会合をもち、申請の準備を進めた。現在、アルゴリズムに対する関心は、国の内外を問わずきわめて高いものがあり、本特定領域研究が開始されれば、関連の研究者をも巻き込んだ大きな渦を引き起こすことが期待される。

国際および国内会議の開催

国際会議については、本特定領域研究の構成員が中心となって、１９９０年より毎年「アルゴリズムと計算に関する国際会議 ISAAC」を国内外で開催している。毎回１００人を上回る参加者を得、約４０編の独創的かつ高度な内容の論文が国内外の研究者によって発表され、国際的に高い評価を得ている。また、論文集は Springer-Verlag 社の Lecture Notes in Computer Science シリーズとして毎回刊行されている。また、１９８８年から毎年 Franco-Japanese 離散数学会議がフランスと日本で交互に開催されており、本特定領域研究の構成員が組織委員として積極的に参加している。

国内会議は本特定領域研究の構成員が中心となって、情報処理学会 (とくにアルゴリズム研究部会)、電子情報通信学会 (とくにコンピュテーション研究部会)、日本応用数理学会、日本オペレーションズリサーチ学会 (とくに数理計画特設研究部会) 等の国内の会議やシン

ポジウムとして、定期的および非定期的のものを合わせ数多く開催している。

学術誌の編集、特集号の発行

国内の学会誌に関しては、情報処理学会、電子情報通信学会、日本応用数理学会、日本オペレーションズリサーチ学会等で、本特定領域研究の主要構成員が中心となって、アルゴリズムの理論と技術に関する特集記事や論文特集を頻繁に発行している。また、国際学会誌では、浅野哲夫、茨木俊秀、杉原厚吉を始め多くの構成員がそれらの編集に関与している他、たとえば、Discrete Applied Mathematics 誌、Algorithmica 誌や Annuals of Operations Research 誌に、本重点領域研究の構成員が中心となって、アルゴリズムに関する特集記事や論文特集を発行している。

4　特定領域研究を推進するに当たっての基本的考え方

申請領域の研究内容と組織構成

本特定領域研究は、社会や産業の活動にともなって現れる代表的な問題を実用的な時間で解決するアルゴリズムを開発することによって、アルゴリズム工学の確立をめざすとともに、産業界の発展およびソフトウェア業界の活性化に寄与しようとするものである。アルゴリズムが関連する分野はきわめて広範囲にわたるが、いたずらに守備範囲を広げそのため焦点がぼけることを避けるため、本研究の対象領域は、いわゆる離散アルゴリズムに限定し（したがって、微分方程式に関連する数値計算や、非線形最適化などは除外される）、その中でも我が国の研究者の層が比較的厚い離散最適化問題、グラフ問題、幾何問題を取り上げ、3グループを形成する。各グループは、代表的な問題に対して現在知られているアルゴリズムと比較して少なくとも１００倍程度の性能を持つ新しいアルゴリズムを開発することを目指し、同時にアルゴリズム構成の方法論を含むアルゴリズム工学の構築を試みる。一方、自律分散型生産システム、インターネットあるいは低軌道通信衛星群など、新らく出現した大規模並列／分散／開放型システムに関して従来型の最適化問題として定式化できない新しい形の問題が出現していることを考慮し、それらを対象とする1グループを設ける。このグループは、問題の定式化からはじめて基本的な検討を行なう。以上の研究を遂行するため、研究組織は、総括班に加え４つ研究項目から構成する。なお、この特定領域研究の規模を考慮し、調整班はとくに置かない。

総括班（１６名）
研究項目 A01　　離散最適化アルゴリズム（研究代表者７名）
研究項目 A02　　グラフアルゴリズム（研究代表者６名）
研究項目 A03　　幾何アルゴリズム（研究代表者６名）
研究項目 A04　　並列／分散アルゴリズム（研究代表者６名）

研究期間

研究期間は３年とする。初年度はそれぞれの研究項目について、今までに蓄積されてきた様々な方法論と理論に徹底的な検討を加え、対象とする問題への適用の可能性を吟味する。第２年度は、初年度の考察を踏まえて、対象とする問題を解決するために欠けている概念や技術を提案し、新しいアルゴリズムの発見と開発に専心する。第３年度は、新しく発見された概念や技術の体系化を図り、アルゴリズム工学分野の確立とともに、得られたアルゴリズムをソフトウェア化することにより、産業界が抱える具体的な問題の解決に供し、その評価を行なう。

研究経費の考え方
特に実験系の研究においては、研究目標を的確に捕らえるだけでなく、その後の研究の展望も踏まえた基盤設備の整備が、強力な研究力を維持し続けるために不可欠である。そこで、経費としては、ワークステーションやそのネットワークなどの設備が中心になる。しかしながら、研究経費の配分に当たっては、各研究者の研究内容と特徴を十分考慮に入れ、限られた経費を最も効率的に使用できるようにする。

産学共同ならびに研究者ネットワークの構築
本研究が産業界が現在実際に抱えている問題の解決を目的としている点を考慮し、企業で活躍されている代表的な研究者を分担者として招き、本研究が実社会と密に関わりながら進むように協力をお願いする。

どの分野においても言えることであるが、特にアルゴリズム研究の分野では、自由な組合せの研究者の共同研究は、発想を活発化し、そこから重要な研究成果が多く生まれてくる。そのような風土の育成には、研究者間の密なネットワーク化が不可欠である。そこで、本領域研究では、このような研究者のネットワーク作りの一環として、WWW による内外の研究者のネットワーク化を行ない、情報の交換および発信に資する。さらに、このネットワーク上で本特定領域研究の成果物であるアルゴリズムをデータベース化し、一般の利用に公開する。

5　特定領域研究の内容

４章で説明したように、本領域研究では、４つの研究項目 A01–A04 を置く。以下では、総括班から始めて、各研究項目について研究組織と研究内容を順次説明する。ただし各研究課題に付けられている番号は整理番号であり、たとえば、研究課題０１は総括班の研究課題である。

5.1　総括班

本特定領域研究の４つの研究項目 A01–A04 は、それぞれが独立ではなく、互いに密に関係しあっている。したがって、各研究項目の研究班は、その内部だけでなく外部とも常に密接な意見交換を行ない、全体を有機的な集合体として機能させる必要がある。総括班は、この目的のため、領域代表者、事務担当、総合企画担当、各研究項目担当、および評価委員を置き、研究の企画、方向の決定、評価、総括を行なう。

- 研究課題０１：新しいパラダイムとしてのアルゴリズム工学：計算困難問題への挑戦

研究代表者	茨木 俊秀	(京都大学工学研究科・教授)	研究統括
研究分担者	永持 仁	(京都大学工学研究科・助教授)	事務担当
	岩間 一雄	(京都大学工学研究科・教授)	総合企画担当
	藤重 悟	(大阪大学基礎工学研究科・教授)	総合企画担当
	山下 雅史	(広島大学工学部・教授)	総合企画担当
	今井 浩	(東京大学理学系研究科・助教授)	研究項目 A01 担当
	室田 一雄	(京都大学数理解析研究所・教授)	研究項目 A01 担当
	浅野 孝夫	(中央大学理工学部・教授)	研究項目 A02 担当
	戸田誠之助	(日本大学文理学部・助教授)	研究項目 A02 担当
	浅野 哲夫	(北陸先端科学技術大学院・教授)	研究項目 A03 担当
	杉原 厚吉	(東京大学工学系研究科・教授)	研究項目 A03 担当

五十嵐 善英(群馬大学工学部・教授)	研究項目 A04 担当
桜井 幸一 （ 九州大学工学研究科・助教授 ）	研究項目 A04 担当
稲垣 康善 （ 名古屋大学工学研究科・教授 ）	評価委員
亀田 恒彦 （ サイモン・フレーザ大学・教授 ）	評価委員
上林 彌彦 （ 京都大学工学研究科・教授 ）	評価委員

5.2 研究項目 A01：離散最適化アルゴリズム

- 研究課題０２：多目的離散最適化問題に対する近似解法の研究
  代表：石井博昭（ 大阪大学工学研究科 ）
- 研究課題０３：メタヒューリスティクスによる計算困難問題の解決に関する研究
  代表：茨木俊秀（ 京都大学工学研究科)
- 研究課題０４：複体理論に基づく離散システムのアルゴリズム論の新展開に関する研究
  代表：今井 浩（ 東京大学理学系研究科 ）
- 研究課題０５：困難なクラスに属する組合せ最適化問題に対する集中化/多様化制御法の開発
  代表：久保幹雄（ 東京商船大学商船学部 ）
- 研究課題０６：離散最適化アルゴリズムの計算効率と離散構造
  代表：藤重 悟（ 大阪大学基礎工学研究科 ）
- 研究課題０７：グラフ・ネットワーク構造を持つ離散最適化問題の定式化とその効率的解法の研究
  代表：増山 繁（ 豊橋技術科学大学 ）
- 研究課題０８：離散凸解析を軸とする離散最適化アルゴリズム
  代表：室田一雄（ 京都大学数理解析研究所 ）

[研究目的] 離散最適化の対象分野は、この特定領域研究の全般にかかわっているため、他のグループとの連絡を密にしつつ、全員が協力して有効なアルゴリズムの開発と、そのために役立つ一般性のある理論の構築を目指す。離散最適化のなかでも、ネットワーク・フロー、マトロイド、劣モジュラなどの数学的構造を持つ問題は、効率よく厳密解を求め得ることが多いが、藤重、増山らは、この観点から、理論の拡張とアルゴリズムの開発を行う。また、非線形ネットワーク・フローの数学的構造は、室田によって離散凸解析に拡張されたが、この理論の拡張とアルゴリズムの開発をさらに進め、有用性を実証する。一方、特殊な数学的構造をもたない一般的な離散最適化問題は、通常ＮＰ困難となり、厳密に解くことは難しいので、良質な近似解を効率よく求めることが主眼になる。久保および茨木は、メタヒューリスティクスのアプローチを用いて、汎用性が高くかつ実用的なアルゴリズムの開発を行う。また、今井（浩）は、２分決定グラフというデータ構造に独自の複体理論を用いて、種々の離散問題の解の数え上げなど基本的な問題の解決を図る。石井は、多目的問題およびファジイ概念を用いることによって離散最適化アルゴリズムの適用範囲を拡大する。最後に、これらの研究の結果得られたアルゴリズムは、すべてソフトウエアとして実装し、他の研究者および現実の応用の場での利用に供する。

5.3 研究項目 A02：グラフアルゴリズム

- 研究課題０９：ネットワークフローと半正定値計画法に基づく高性能近似アルゴリズムの研究

代表：浅野孝夫（ 中央大学理工学部 ）

- 研究課題１０：スケジューリングのグラフアルゴリズムによる解法
  代表：周 暁（ 東北大学情報処理教育センター ）
- 研究課題１１：Width を制限した場合のグラフ理論的計算問題の計算量解析
  代表：戸田誠之助（ 日本大学文理学部 ）
- 研究課題１２：グラフ・ネットワーク問題を解くアルゴリズムの開発
  代表：永持 仁（ 京都大学工学研究科)
- 研究課題１３：組合せ問題の高性能近似アルゴリズムに関する研究
  代表：平田 富夫（ 名古屋大学工学研究科 ）
- 研究課題１４：ネットワーク最適化問題の解法効率化に関する研究
  代表：渡辺敏正 (広島大学工学部)

[研究目的] 離散最適化問題の中でも特殊な構造をもちかつ基礎的であるグラフ・ネットワーク問題と SAT(充足可能性問題) を対象とする。他のグループと情報の交換を行いつつ、このような問題として定式化できる様々な現実問題について現状を調査し、その中の重要な問題に対して効率の良いアルゴリズムを開発する。個々の問題特有の性質を利用し、専用の高速アルゴリズムの設計を主眼とするが、得られたアルゴリズムやその設計手法について一般化を図ることも念頭に置く。具体的課題としては、永持、渡辺は連結度増大問題をはじめとするグラフの連結性に関する問題を取り扱う。グラフの並列アルゴリズムにおいては、戸田はグラフの同型性判定問題、極大非閉路部分グラフ問題の研究を行い、周は辺彩色、グラフのランキング問題の研究の研究を行い、ともに、アルゴリズムの並列化をも試みる。SAT に関する問題はＮＰ困難となる場合が多いが、このクラスの問題に対し、浅野 (孝夫)、平田が半正定値問題を用いた近似アルゴリズムを研究する。開発されたアルゴリズムについては計算複雑度、解の精度 (近似度) の理論的考察とともに、それらの実装と性能評価を行う。

5.4　研究項目 A03：幾何アルゴリズム

- 研究課題１５：理論的には計算困難な問題の現実的解法に関する研究
  代表：浅野 哲夫（ 北陸先端科学技術大学院大学 ）
- 研究課題１６：動的および実時間環境における幾何構造の変化に対する統一的手法に関する研究
  代表：今井桂子（ 中央大学理工学部 ）
- 研究課題１７：建築計画・建築構造における幾何学的アルゴリズムの開発
  代表：加藤直樹（ 京都大学工学研究科 ）
- 研究課題１８：精度保証機能をもった幾何アルゴリズムの構成法
  代表：杉原厚吉（ 東京大学工学系研究科)
- 研究課題１９：経路最適化問題の近似アルゴリズム—幾何学的制約の有効利用と大規模問題に対する実用化
  代表：玉木久夫（ 明治大学理工学部 ）
- 研究課題２０：グラフの高品質描画アルゴリズム
  代表：中野 眞一（ 東北大学工学研究科 ）

[研究目的] 我々は３次元ユーグリッド空間に住んでいるわけであるから、多くの応用では、幾何的制約をもった離散最適化問題の解決が求められる。本研究項目では、このような幾何的制約を処理する幾何アルゴリズムを研究する。幾何アルゴリズムの特徴は、連続空間を扱うことによる困難さと幾何的制約の有効利用の可能性にある。有限精度しか持たない計算機で

連続領域を扱うためには、精度保証を検討する必要があり、この問題を杉原が担当する。また空間上を移動する幾何対象を扱う問題を今井（桂子）が担当する。一方、幾何的制約の有効利用の可能性は加藤と玉木の担当であり、加藤は建築学、玉木は交通システムを対象として、そこに現れる様々な最適化問題を、それらが 3 次元ユーグリッド空間上に存在するという制約を有効利用しながら解くことを検討する。最後に、幾何アルゴリズムの最大の工学的応用はグラフィックデバイスを用いた視覚化にある。そこでこの点を重視して、浅野（哲夫）は美的な色調技術に現れる問題を、中野は美的なグラフの描画の問題をそれぞれ担当する。

5.5　研究項目 A04：並列 / 分散アルゴリズム

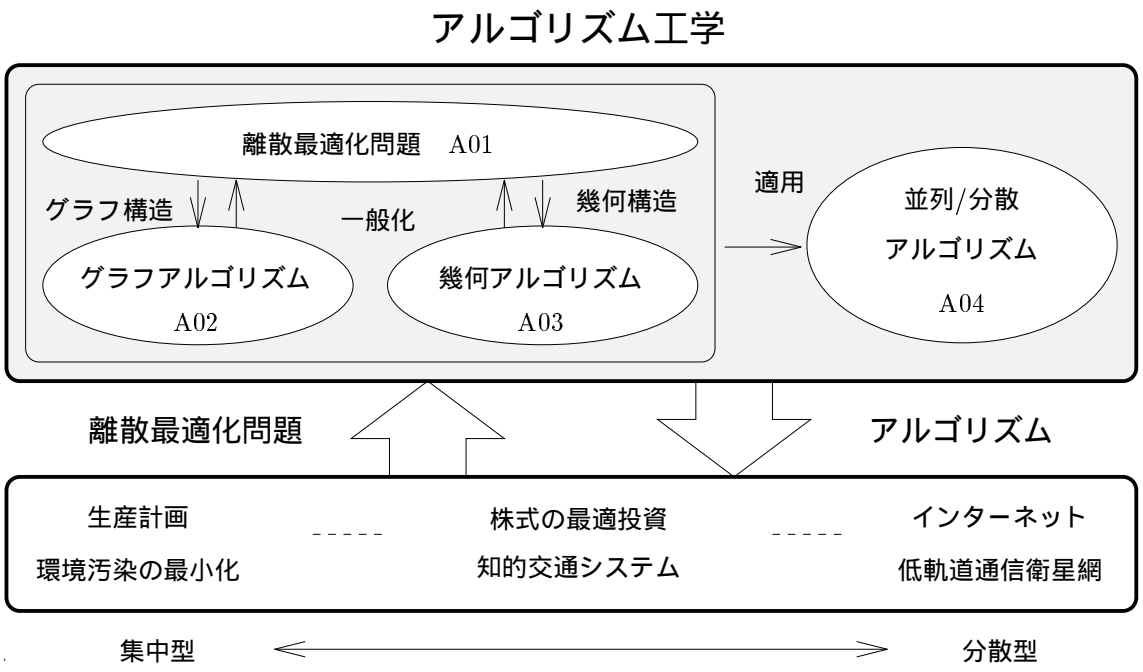
- 研究課題２１：分散ネットワークにおける情報通信の安全性に関する研究
  代表：五十嵐善英（群馬大学工学部）
- 研究課題２２：適応化と確率化による高速ラウティングアルゴリズムの開発
  代表：岩間一雄（京都大学工学研究科）
- 研究課題２３：計算困難な問題を利用した公開鍵暗号アルゴリズムの設計とその解析
  代表：櫻井幸一（九州大学システム情報科学研究科）
- 研究課題２４：高度な信頼性を有する大規模分散システム構築のための分散アルゴリズムに関する研究
  代表：増澤利光（奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
- 研究課題２５：広域分散システムのためのアルゴリズム工学
  代表：山下雅史（広島大学工学部）
- 研究課題２６：並列アルゴリズムに対する設計パラダイムと理論モデルの実現可能性に関する研究
  代表：和田幸一（名古屋工業大学）

[研究目的] インターネット、低軌道通信衛星群、知的交通システムなど新しく出現しつつある大規模並列 / 分散 / 開放型システムに関わる新しい型の最適化問題を取り扱う。このようなシステムの基本的な特徴は、局所的情報しか把握できない多数の自律的なシステムコンポーネントから構成されていることである。本研究項目は他の 3 つの領域と異なり、様々な問題が野積みにされた状態で置かれているので、まずこのようなシステムに必然的に現れる問題を抽出し、数学的にモデル化し、理論の枠組を決める所から出発する必要がある。そこで以下のように問題を分担して研究を進める。アルゴリズム工学を建築するためには、まずシステムのモデルとシステムの良さの尺度を明らかにする必要がある。この重要な問題に和田が、特に理論モデルの実現可能性の側面から取り組む。SIGACT の提言でも最重要課題にあげられているコンポーネント間の安全で高速な通信を確保する問題は、分散システムの高速化ばかりでなく、アルゴリズムの実用システム上への実現において重要な役割を果たす。文章の暗号化という立場から櫻井が、プロトコルの安全性という立場から五十嵐が、高速通信という立場から岩間がそれぞれ検討する。局所的な情報を用いたシステムの制御の問題については、大域的同期問題を山下が、一時故障からの自動回復を増澤が担当する。

6　その他

(1) 研究内容の位置づけ

次ページに申請する領域の位置付けを示す。多様な最適化問題を引き受け、アルゴリズムを回答するのがアルゴリズム工学の使命である。



(2) 既設または終了した重点領域研究への参加状況
以下の各重点研究に括弧内の研究者が参加した。「超並列計算」(今井浩)「認知科学」(今井浩、茨木俊秀)「高機能データベースシステム」(分担：茨木俊秀、今井浩、岩間一雄)「創発システム」(分担：山下雅史)「ソフトウェア発展」(山下雅史–平成９年度のみ。平成１０年度は申請をしていない)「発見科学」(分担：今井浩)。

7　領域代表者および計画研究の研究代表者の文部省以外の省庁等からの研究費の受け入れ状況

該当なし。

8　領域代表者および事務担当者

領域代表者　茨木 俊秀（京都大学工学研究科・教授）
勤務先住所　〒606-01 京都市左京区吉田本町　京都大学工学研究科数理工学専攻
電話　075-753-5504、　**FAX**　075-753-4866、　自宅電話番号　075-722-3922
Email　ibaraki@kuamp.kyoto-u.ac.jp

事務担当者　永持 仁（京都大学工学研究科・助教授）
勤務先住所　〒606-01 京都市左京区吉田本町　京都大学工学研究科数理工学専攻
電話　075-753-5494、　**FAX**　075-761-2437、　自宅電話番号　075-612-8647
Email　naga@kuamp.kyoto-u.ac.jp