

## 超ロバスト計算パラダイムの構築

### Construction of a Superrobust Computation Paradigm

杉原 厚吉 (Kokichi Sugihara)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授



#### 研究の概要

本研究参加者がそれぞれの計算分野で個別のロバスト計算技術を開発すると同時に、分野の境界を超える共通で普遍的なロバスト計算原理を抽出することによって、ロバスト計算のためのアルゴリズム設計パラダイムを構築した。

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学／ソフトウェア

キーワード：ロバスト計算，位相優先法，記号摂動，超図形，物理法則継承差分法

#### 1. 研究開始当初の背景

デジタル計算機の性能が急激なスピードで向上し、ともすれば計算の高速化・大規模化のみが強調されがちである。しかし、大規模な計算は多くの不安定要因をもつため、安易な規模の拡大は計算の空洞化をもたらし、いずれ破綻しかねない。この破綻を未然に防ぎ、デジタル計算機の性能を真に生かすためには、外乱が生じても安定に動作するロバスト性を備えた計算技術を開発しなければならない。本研究はこの課題に取り組んだものである。

#### 2. 研究の目的

計算の各分野でロバストな計算法を開発してきた研究者が参加して、個別のロバスト計算技術をさらに向上させるとともに、互いの知見を交換し、個別技術の中から分野の境界を超える共通で普遍的なロバスト計算原理を抽出することによって、ロバスト計算のためのアルゴリズム設計パラダイムを構築する。

#### 3. 研究の方法

互いの研究成果紹介のためのセミナーの開催、研究速報の発行などを通して研究交流を行うなかで、共通原理の抽出に務めた。また、個別ロバスト計算技術の開発の一部を担当するために、延べ4人年のポスドク研究員を雇用了。4台の高性能ワークステーションをはじめとするコンピュータを購入し、開発したロバスト計算アルゴリズムの性能評価を行った。

#### 4. 研究の主な成果

次の五つのロバスト計算原理を抽出できた。

##### (1) 原理 1 「計算対象の背後に存在する構造不変性の利用」

計算自体は途中で発生する数値誤差のために乱れるが、対象の構造不変性は、数値誤差の影響を受けない組合せ計算によって保持できるため、それを優先することにより計算の破綻を防ぐことができる。この原理に属す技術には、位相構造の優先による幾何不整合の回避、物理法則を継承する差分法、因果律に反しない計算順序の選択、符号パターンに基づいた数理計画法などがある。

##### (2) 原理 2 「対象世界の拡大による計算の安定化」

計算を不用意に行うと結果が想定範囲をはみ出して無意味なものになってしまうことがある。このような状況では対象世界を拡張することによって計算の安定化が達成できる場合がある。図形を超図形へ拡張することによるミンコフスキー演算の安定化、基本命令語の抽象化による DNA 計算プログラミングの簡易化、記号摂動による例外解消などがこの原理に属す。

##### (3) 原理 3 「対象世界を制限することによる計算の安定化」

連続関数の格子点への制限による安定化、実数計算の整数への制限による無誤差化、デジタル画像近似による幾何計算コードの汎用化などがこの原理に属す。

##### (4) 原理 4 「不確定性のモデル化による計算の安定化」

物理パラメータの値を値の集合に置き換え

〔4. 研究の主な成果 (続き)〕  
ることによる制御の安定化, 区間計算を用いた積分方程式の解法, 不確定性の確率分布表現による統計計算安定化などがこの原理に属す.

(5) 原理 5 「仮定の排除による汎用性の確保」

発生確率に関する仮定を排除することによるユニバーサル符号技術などがこの原理に属す.

このように個別技術を横断的に体系化する原理が抽出できただけでなく, この原理に基づいて, 次に示す新しいロバスト計算技術が開発できた.

(6) 「デジタル位相優先法」

位相優先法では, 個別の問題ごとに背景にある位相的不変性を探さなければならなかった. この困難を克服するために, 幾何計算のデジタル画像からその位相構造を自動抽出して利用する新しいタイプの位相優先法を開発した. 原理 3 と原理 1 の融合によって生まれた新技術である.

(7) 「超摂動」

例外の自動解消を実現する記号摂動は, すべての例外を解消してしまうため, パッキング問題の接触状態などの解消してほしくない例外まで解消されて, 使えない場合がある. これを克服するために, 望みの例外のみを選択的に解消する方法を開発した.

これらの成果を総合するに, 計算の不安定さに直面したユーザが, 安定な計算法を開発するために指針となるロバスト計算技術の体系化ができ, パラダイムが構築できた.

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

ロバスト計算の技術を分野横断的原理として体系化する試みは海外も含めて他にはなく, 海外でも注目されて多くの国際会議などでこの成果に関して招待講演を行った. また, ロバスト計算によって大規模な問題が解けるようになったボロノイ図の応用分野では, 本研究が主催して行った国際会議が世界各国の持ち回りで毎年開かれる定期的国際会議へ成長した. このように新しい定期的国際会議を生み出し, この分野の国際的拠点としての機能も果たした.

また, 本研究の代表者 杉原が幾何計算の分野で開発してきた誤差に鈍感な線画解析法 (これは「超摂動」の前身でもある) から, 新しい立体錯視を発見することができ, これは, 新聞やテレビでも取り上げられた.

6. 主な発表論文

T. Nishida, **K. Sugihara** and M. Kimura:

Stable marker-particle method for the Voronoi diagram in a flow field. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 202 (2007), pp. 377--391.

**A. Takemura** and H. Hara: Conditions for swappability of records in a microdata set when some marginals are fixed. *Computational Statistics*, vol. 22 (2007), pp. 173--185.

D. Kim, D.-S. Kim and **K. Sugihara**: Apollonius tenth problem via radius adjustment and Mobius transformation. *Computer-Aided Design*, vol. 38 (2006), pp. 14--21.

T. Yaguchi and **K. Sugihara**: On the Hedstrom nonreflecting boundary condition for  $C^2$  solutions. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 197 (2006), pp. 150-155.

M. Iwamoto and **H. Yamamoto**: Strongly secure ramp secret sharing schemes for general access structures. *Information Processing Letters*, vol. 97 (2006), pp. 52--57.

**S. Murashige**: A practical method of numerical calculation of the mapping degree. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, vol. E89 (2006), pp. 1813--1819.

D. Avis, **H. Imai** and T. Ito: On the relationship between convex bodies related to correlation experiments with dichotomic observables. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, vol. 39 (2006), pp. 11283--11299.

**K. Sugihara**: A characterization of a class of anomalous solids. *Interdisciplinary Information Sciences*, vol. 11 (2005), pp. 149--156.

R. Miyashiro and **T. Matsui**: A polynomial time algorithm to find an equitable home-away assignment. *Operations Research Letters*, vol. 33 (2005), pp. 235--241.

K. Murotani and **K. Sugihara**: New spectral decomposition method for three-dimensional shape models and its applications. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 5 (2005), pp. 277--282.

**K. Murota** and A. Shioura: Conjugacy relationship between M-convex and L-convex functions in continuous variables. *Mathematical Programming*, vol. A101 (December, 2004), pp. 415--433.