

平成22年5月15日現在

研究種目：	基盤研究 (B)
研究期間：	2006～2009
課題番号：	18300001
研究課題名 (和文)	大域的ノルムを用いた幾何データ処理最適化理論の構築
研究課題名 (英文)	Construction of Geometric Data Processing Optimization Theory by Using Global Norms
研究代表者	徳山 豪 (TOKUYAMA TAKESHI)
	東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：	40312631

研究成果の概要 (和文)：

大域的ノルムを用いた幾何データ処理最適化理論の構築を行い、大域的ノルムに基づく幾何学図形の最適圧縮、画像の最適近似、更に新しい概念であるグリッド上の離散ユークリッド幾何公理の提案と、それに基づく線分族の構築と理論的最適性を示した。成果は31編の査読付き学術論文、36件の国内外学会発表にまとめられ、3冊の著書やテレビインタビューなどによる啓蒙広報活動も行った。

研究成果の概要 (英文)：

We have established novel theory of geometric data processing based on optimization using global norms. We have given optimal compression of geometric objects and optimal approximation of visual images with respect to global norms. Moreover, we proposed new concept of discrete Euclidean axioms on a grid, and gave a novel construction of a family of digital segments together with its theoretical optimality. We have published our results in 31 refereed journal/conference papers, and given 36 international/domestic conference presentations. We also did educational campaign via three textbooks and a TV interview.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
総計	10,900,000	3,270,000	14,170,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：アルゴリズム、数理工学、幾何学、情報システム

1. 研究開始当初の背景

従来、計算幾何学での図形近似理論では主にハウスドルフ距離や最大垂直距離 (L_∞ 距離) などの最大距離を最小化する基準 (最大値最

小化基準) をもとに構築されている。しかし、最大値最小化基準では出力の任意性があり、測定エラーに弱いという弱点があり、応用によっては十分な近似が行われないという問

題点があった。例えば、入力図形を関数の軌跡 $y = f(x)$ 、出力図形を $y=g(x)$ とすると、最大垂直距離は $\max |f(x) - g(x)|$ であるが、この値は最大距離を持つ x で局所的に定まるので、入力値に一点でも誤測定があると出力が大きく左右される。その点、例えば与える L_p 距離等の積分型の大域的距離は誤測定に対して頑健であり、多くの応用において図形の大域的性質をよりよく近似できる。

一方、関数近似は数学・工学・自然科学のすべての分野で基本的な作業である。チェビシェフ多項式などを使った近似やフーリエ展開やウェーブレット展開などによる手法など、解析的な手法が数多く発明され、無数の応用を生んできた。多くの場合、これらの近似は、関数空間を Banach 空間として見た時の低次元部分多様体への射影であり、精度の基準としては、関数空間の（積分型）ノルムを用いている。しかしここでは、出力の幾何学的形状については直接的な指定はできず、関数空間での複雑度や射影される部分空間の性質を指標にする。

この2つの考え方は従来独立に取り扱われ、手法的に融合されていなかった。特に、計算幾何学において、図形の単純化はデータ圧縮や交差判定や陰面消去などの高速化のために広く研究されている。代表的な例として、曲線や曲面の構築問題、幾何学的パターンマッチやフィッティング問題、多角形のKリンク近似などがある。しかしながら、従来のほとんどの研究は最大値最小化基準を採用し、入力のノイズに極端に弱いという欠点がある。一方、本研究で挑戦する**解析的な積分型ノルムを最小化する問題**は、解析的な連続最適化を離散最適化と両立させる必要があるため、ボロノイ図などの計算幾何学の手法が有効に利用できず、アルゴリズム設計が非常に難しいとされていた。しかしながら、**離散的な計算幾何学への解析的評価の導入**は計算理論の立場からも応用上も魅力的であり、グラフィクスやパターン照合、画像処理など直接の応用のほかに、徳山の研究テーマの一つであるデータマイニング（知識抽出技術）等で必要なデータからのコンパクトな知識の抽出においても重要であり、強いインパクトと波及効果、高い意義を持つ。

2. 研究の目的

本研究では、誤差に対して頑健な大域的なノルムを用いた解析的な関数近似と、幾何学形状を重ねた図形的な形状近似の**2つの考え方を融合**し、出力の幾何学的形状を計算幾何学的な離散構造で指定し、一方で精度基準として積分型ノルム等の大域的尺度を扱える最適化理論を構築する。

3. 研究の方法

科学研究費の交付期間内では、特に入力を集集合または離散的に与えた1変数または2変数の区分線形関数の軌跡に絞り、出力形状のピーク数や位相的・離散的性質を出力の品質要求として与え、最適化理論を研究し、また、曲線・曲面構築問題の新しい手法として実装実験も行う。また、国内外の研究者との相互訪問を行い、国際共同研究を実施する。

4. 研究成果

1変数、2変数の大域的ノルムによる幾何学形状を保持した最適近似理論を構築し、また、その最適近似理論の基盤となるグリッド位相での幾何学公理系の提唱と、グリッドでの整合的な離散線分族の提案という大きな成果を挙げ、高い国際評価を受けた。これは次年度以降の新しい基盤研究テーマに発展している。

これらの成果に関して、多数の論文発表を行った。特に ACM 計算幾何学シンポジウムや Theoretical Computer Science などの一流国際会議、国際雑誌での発表を行い、質的にも顕著な成果を挙げた。

共同研究としては、分担者以外にも加藤直樹（京都大学）玉木久夫（明治大学）定兼邦彦（九州大学）等と定期的な研究交流を行った。国際的にも Boris Aronov（米国ポリテクニク大学教授）、Kurt Mehlhorn（ドイツ、マックスプランク情報研究所所長）、Jiri Matousek（チェコ、チャールズ大学教授）、を初めとする世界中の一流研究者、Sang Won Bae（韓国、KAIST 研究員）河村彰星（トロント大学）などの海外若手研究者との研究交流を行い、国際共同研究の成果として多数の論文を発表した。

更に、2007年にはアルゴリズムと計算の国際会議 ISAAC を研究代表者が主催し、また、日韓、日洪などの二カ国間ワークショップを通じた研究発表や研究協力を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計31件）

[1] Jinhee Chun, Yuji Okada and Takeshi Tokuyama, “Distance Trisector of a Segment and a Point”, *Interdisciplinary Information Sciences*, Vol. 16, No. 1, pp. 119-126, 2010 (査読有)

[2] 徳山豪, “高密度部分グラフの抽出”, *電子情報通信学会誌*, 2009-2, pp. 82-89, 2009(査読有) (但し招待解説論文)

[3] Sang Won Bae, Matias Korman and Takeshi Tokuyama, “All Farthest Neighbors in the Presence of Highways and Obstacles”, *Proc. WALCOM 2009, Springer LNCS 5431*, pp. 71-82,

2009(査読有)

[4]Keiko Imai, Akitoshi Kawamura, Jiri Matousek, Yu Muramatsu and Takeshi Tokuyama, “Distance k-Sectors and Zone Diagra” ms, Abstracts of EuroCG 2009, pp.191-194, 2009 (査読有)

[5] Jinhee Chun, Ryosei Kasai, Matias Korman and Takeshi Tokuyama, “Algorithms for Computing the Maximum Weight Region Decomposable into Elementary Shapes”, Proceedings of the 20th Annual International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC ’09), LNCS 5878, pp.1166-1174, 2009 (査読有)

[6] Jinhee Chun, Ryosei Kasai, Matias Korman and Takeshi Tokuyama, “Algorithms for Optimal Segmentation of Regions Decomposable into Basic Shapes ”, Proceedings of the 11th Japan-Korea Joint Workshop on Algorithms and Computation (WAAC’ 09),pp.138-145, 2009 (査読有)

[7] Jinhee Chun, Matias Korman, Martin Nöllenburg and Takeshi Tokuyama , “Consistent digital rays”, Discrete and Computational Geometry, Vol.42, No.3, pp.359-378 , 2009 (査読有), Invited Paper

[8]Sang Won Bae, Matias Korman, Takeshi Tokuyama, “All Farthest Neighbors in the Presence of Highways and Obstacles ”, WALCOM 2009, pp.71-82, 2009 (査読有)

[9]Kazushige Sato , Takeshi Tokuyama , “Directional Geometric Routing on Mobile AdHoc Networks”, COCOON 2009, pp.527-537, 2009 (査読有)

[10] Jinhee Chun, Matias Korman, Martin Nöllenburg and Takeshi Tokuyama , “Consistent digital rays”, Proceedings of the 24th European Workshop on Computational Geometry (EuroCG’08) , pp.169-172, 2008 (査読有)

[11] Jinhee Chun, Matias Korman, Martin Nöllenburg and Takeshi Tokuyama , “Consistent digital rays”, Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Symposium on Computational Geometry (SoCG ’08) , pp.355-364, 2008 (査読有)

[12] Jinhee Chun, Matias Korman, Martin

Nöllenburg and Takeshi Tokuyama, “Finding the maximum union of closures is NP-hard, even for trees”, Proceedings of the 11th Japan-Korea Joint Workshop on Algorithms and Computation(WAAC’08), pp.139-144, 2008 (査読有)

[13]Matias Korman and Takeshi Tokuyama, “Optimal Insertion of a Segment Highway in a City Metric”, In Proceedings of the 14th international conference on Computing and Combinatorics (COCOON’08), LNCS, pp.611-620, 2008 (査読有)

[14]Matias Korman , Takeshi Tokuyama , “Optimal Insertion of a Segment Highway in a City Metric”, Proceedings of COCOON 2008, Springer LNCS 5092, pp.611-620, 2008 (査読有)

[15]Magnús M , Halldórsson , Takeshi Tokuyama, “Minimizing interference of a wireless ad-hoc network in a plane”, Theor, Comput, Sci, 402(1), pp.29-42, 2008 (査読有)

[16]Akiko Suzuki, Takeshi Tokuyama, “Dense subgraph problems with output-density conditions ” , ACM Transactions on Algorithms 4(4), Article No. : 43(pp.1-18), 2008 (査読有)

[17]Takeshi Tokuyama, “Geometric Problems on Ad-Hoc Network Design”, RIMS Workshop on Discrete Mathematics and Computational Geometry pp.135-143, 2008 (数理解析研究所講究録 1641) (査読有)

[18] Jinhee Chun, Yuji Okada and Takeshi Tokuyama, “Distance Trisector of Segments and Zone Diagram of Segments in a Plane”, Proceedings of the 4th International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering (ISVD’07), pp.66-73, 2007 (査読有)

[19]Tetsuo Asano, Naoki Katoh, Hisao Tamaki, Takeshi Tokuyama, “Voronoi Diagram with Respect to Criteria on Vision Information”, 4th Symposium on Voronoi diagram (IEEE Press), pp.25-32, 2007 (査読有)

[20]Magnús M , Halldórsson , Christian Knauer, Andreas Spillner, Takeshi Tokuyama, “ Fixed-Parameter Tractability for Non-Crossing Spanning Trees”, 10th Workshop on Data Structures and Algorithms , LNCS

4619, pp.412-420, 2007 (査読有)

[21]Tetsuo Asano, Jirí Matousek, Takeshi Tokuyama, “Zone diagrams, existence, uniqueness and algorithmic challenge”, 18th ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA 2007), pp.756-765, 2007 (査読有)

[22]Tetsuo Asano, Jirí Matousek, Takeshi Tokuyama, “Zone diagrams, existence, uniqueness and algorithmic challenge”, SIAM Journal on Computing 37-4, pp.1182-1198, 2007 (査読有)

[23]Takeshi Tokuyama, “Recent progress on combinatorics and algorithms for low discrepancy roundings”, Graphs Combin, 23, supp.1, 1, pp.359-378, 2007, (査読有)

[24]Tetsuo Asano, Jiri Matousek, Takeshi Tokuyama, “The distance trisector curve”, Adv, Math, 212, no, 1, pp.338-360, 2007 (査読有)

[25] Jinhee Chun, Kunihiko Sadakane and Takeshi Tokuyama, “Linear Time Algorithm for Approximating a Curve by a Single-peaked Curve”, Algorithmica, Vol.44, No.2, pp.103-115, 2006 (査読有)

[26] Jinhee Chun, Kunihiko Sadakane and Takeshi Tokuyama, “Efficient Algorithms for Constructing a Pyramid from a Terrain”, IEICE Transactions, Vol.E89-D, No.2, pp.783-788, 2006 (査読有)

[27]徳山豪, “関数近似における幾何学アルゴリズムの最近の進展, データ解析への応用に向けて”, 電子情報通信学会論文誌 A J89-A-6, pp.419-429, 2006 (査読有) (招待解説論文)

[28]Magnus M, Halldorsson, Takeshi Tokuyama, “Minimizing Interference of a Wireless Ad-Hoc Network in a Plane”, Proc, ALGOSENSOR 2006, Springer LNCS4240, pp.71-82, 2006 (査読有)

[29]Akiyoshi Shioura, Takeshi Tokuyama, “Efficiently pricing European Asian options- ultimate implementation and analysis of the AMO algorithm”, Information Processing Letters, 100 2006, pp.213-219, 2006 (査読有)

[30]Boris Aronov, Tetsuo Asano, Naoki

Katoh, Kurt Mehlhorn, Takeshi Tokuyama, Polyline “Fitting of Planar Points under Min-sum Criteria”, Int, J, Comput, Geometry App.1, 16(2-3), pp.97-116, 2006 (査読有)

[31]Tetsuo Asano, Jiri Matousek, Takeshi Tokuyama, “The Distance Trisector Curve”, Proceedings of the 38th ACM Symposium on Theory of Computing (STOC06), pp.336-343, 2006 (査読有)

[学会発表] (計 35 件)

[1] 安齋進也, 全真嬉, 葛西亮生, コルマンマティアス, 徳山豪, “画像切り出しに対するアルゴリズムの提案”, 冬のLAシンポジウム, 2010年2月2日, 京都 (査読なし)

[2]Tetsuo Asano, Danny Chen, Takeshi Tokuyama “Deterministic Constant Work Space Algorithms for 2-D Linear Programming”, 電子情報通信学会コンピューターション研究会, COMP2009-52, pp.19-24, 2010年3月12日, 東京 (査読なし)

[3]成田龍太, 徳山豪, “センサーネットワークの位相情報の検知に関する研究”, 電子情報通信学会コンピューターション研究会, COMP2009-55, pp.39-45, 2010年3月12日, 東京 (査読なし)

[4]河村彰星, 徳山豪, “イルジマトウシエク, ユークリッド空間及びノルム空間における地帯図”, 電子情報通信学会コンピューターション研究会, COMP2009-42, pp.23-28, 2010年1月25日, 福岡 (査読なし)

[5]今井桂子, 河村彰星, 徳山豪, “イルジマトウシエク, ダニエルレエム, 距離等分の存在”, 電子情報通信学会コンピューターション研究会, COMP2009-41, pp.17-22, 2010年1月12日, 福岡 (査読なし)

[6]Matias Korman and Takeshi Tokuyama, “An Improved Algorithm for Inserting a Highway in a City Metric Based on Quasiconvex Optimization Techniques”, In Proc, of the 25th European Workshop on Computational Geometry, 16 March 2009, Brussels, Belgium (査読有)

[7]Matias Korman and Takeshi Tokuyama, “An Improved Algorithm for Inserting a Highway in a City Metric Based on Quasiconvex Optimization Techniques”, In Proc, of the 2nd Asian Association for Algorithms and Computation (AAAC'09), 11 April 2009,

Hangzhou, China (査読有)

[8]全眞嬉, 葛西亮生, コルマン マティアス, 徳山豪, “複数のデジタル図形の最適切り出しについて”, 電子情報通信学会コンピュータセッション研究会, COMP2009-32, pp.1-8, 2009年10月16日, 仙台 (査読なし)

[9] 全眞嬉, 葛西 亮生, コルマン マティアス, 徳山 豪, “基本調領域の非交差和領域の最適イメージ切り出しアルゴリズム”, 第8回FIT情報科学技術フォーラム 2009, Vol. 8, RA-006, pp. 37-42, 2009年9月2日, 仙台 (査読有)

[10] 櫻庭敦之, 成田龍太, 全眞嬉, 徳山豪, “ジャストインタイムウェブ広告におけるタクソノミ自動生成手法”, 第8回FIT情報科学技術フォーラム 2009, D-026, 185-186 項, 2009年9月2日, 仙台 (査読なし)

[11]葛西 亮生, コルマン マティアス, 全眞嬉, 徳山 豪, “基本図形に分割可能な領域の最適切り出しアルゴリズム”, LAシンポジウム 2009, 2009年7月22日, 松島 (査読なし)

[12]櫻庭敦之, 成田龍太, 全眞嬉, 徳山豪, “ジャストインタイムウェブ広告におけるタクソノミ自動生成手法”, LAシンポジウム 2009, 2009年7月22日, 松島 (査読なし)

[13]Ryosei Kasai, Jinhee Chun, Matias Korman, Takeshi Tokuyama, “Algorithms for optimal segmentation of regions decomposable into basic shapes”, コンピューテーション研究会, IEICE Technical Report, Vol. 109, No. 108, pp. 23-30, 2009年6月29日, 北海道 (査読なし)

[14]葛西亮生, 全眞嬉, マティアス コルマン, 徳山豪, “基本図形分割可能領域の最適切り出しアルゴリズム”, 電子情報通信学会コンピュータセッション研究会, COMP2009-21, pp.23-30, 2009年6月29日, 北海道 (査読なし)

[15]Takeshi Tokuyama, “Geometric Optimization in Grid Topology and Related Combinatorics”, 20th Conference on Algorithmic and Combinatorial Geometry, 18 June 2009, Budapest, (査読なし) (招待講演)

[16]Matias Korman, Takeshi Tokuyama, “An Improved Algorithm for Inserting a Highway in a City Metric Based on Qua-siconvex Optimization”, 電子情報通信

学会コンピュータセッション研究会, COMP2009-5, pp.29-35, 2009年4月17日, 京都 (査読なし)

[17]Takeshi Tokuyama, “Geometric Problems on Ad-Hoc Network Design”, RIMS Workshop on Discrete Mathematics and Computational Geometry, pp. 135-143 (数理解析研究所講究録 1641), 2008年10月18日, 京都 (査読なし)

[18]佐藤和茂, 徳山豪, “アドホックネットワーク上でのランダム局所近傍を利用した幾何ルーティングアルゴリズムの設計と解析”, FIT2008 報科学技術フォーラム, A-003, 2008年9月3日, 藤原 (査読なし)

[19]志賀琴枝, 徳山豪, “リストページ自動分割問題の最適グラフ分割を用いた解法の提案と評価”, FIT2008 報科学技術フォーラム, RA-06, 2008年9月3日, 藤原 (査読有)

[20]成田龍太, 全眞嬉, 徳山豪, “動画に対するコメントを利用した自動Web検索システム”, FIT2008 報科学技術フォーラム, D-022, 2008年9月3日, 藤原 (査読なし)

[21]Jinhee Chun, Matias Korman, Martin Noellenburg and Takeshi Tokuyama, “Consistent Digital Rays”, The 2nd International Symposium on Information Electronics Systems (CERIES-GCOE08), 14 July 2008, Sendai (査読なし)

[22]Matias Korman and Takeshi Tokuyama, “Subquadratic Segment Insertion”, LAシンポジウム 2008, 2008年7月23日, 和歌山 (査読なし)

[23]佐藤和茂, 徳山豪, “アドホックネットワーク上でのランダム局所近傍を利用した幾何ルーティングアルゴリズムの設計と解析”, 電子情報通信学会コンピュータセッション研究会, COMP2008-16, pp.7-14, 2008年6月16日, 石川 (査読なし)

[24]Matias Korman and Takeshi Tokuyama, “Optimal insertion of a segment highway in a city metric”, In Proc. of the 1st Asian Association for Algorithms and Computation (AAAC' 08), 26 April 2008, Hong Kong (査読有)

[25]Jinhee Chun, Matias Korman, Martin Noellenburg, Takeshi Tokuyama, “Digital Star Shapes and Their Applications”, Asian Association for Algorithms and

Computation 2008 (AAAC' 08), 26 April 2008, Hong Kong (査読有)

[26] Matias Korman and Takeshi Tokuyama, "Optimal Insertion of a Segment Highway in a City Metric", In Proc. of the 24th European Workshop on Computational Geometry, 19 March 2008, Nancy France (査読有)

[27] Jinhee Chun, Matias Korman, Martin Noellenburg, Takeshi Tokuyama, "Consistent Digital Rays", In Proc. of the 24th European Workshop on Computational Geometry, 19 March 2008, Nancy France (査読有)

[28] Jinhee Chun, Matias Korman, Martin Noellenburg, Takeshi Tokuyama, "Consistent Digital Rays", 電子情報通信学会コンピュータシオン研究会, COMP2007-61, pp.39-46, 2008年3月10日, 神奈川 (査読なし)

[29] 小沼寛明, 佐藤和茂, 徳山豪, "メッシュネットワークにおけるジオメトリックルーティングに関する研究", 第117アルゴリズム研究会, 2008年3月7日, 広島 (査読なし)

[30] Jinhee Chun, Matias Korman, Martin Noellenburg and Takeshi Tokuyama, "Digital Star Shapes and Their Applications", 情報処理学会114回アルゴリズム研究会, 2007年9月21日, 豊橋 (査読なし)

[31] Matias Korman and Takeshi Tokuyama, "Optimal Highway Location Problem", In Proc. of the International Conference on Computational Geometry and Graph Theory (CGGT' 07), 12 June 2007, Kyoto (査読有)

[32] Magnus Halldorsson, Christian Knauer, Andreas Spillner, Takeshi Tokuyama, "Fixed-Parameter Tractability for Non-Crossing Spanning Trees", 電子情報通信学会コンピュータシオン研究会, COMP2007-15, pp.25-30, 2007年5月25日, 福岡 (査読なし)

[33] コルマン マティアス, 徳山豪, "最適ハイウェイ配置問題", 電子情報通信学会コンピュータシオン研究会, COMP2007-14, pp.19-24, 2007年5月25日, 福岡 (査読なし)

[34] 徳山豪, 計算理論の現実の場での応用例,

情報処理学会春季大会 特別セッション「情報爆発時代における理論と応用」基調講演, 2007年3月7日, 早稲田大学, 東京 (査読無し, 基調講演)

[35] 田代太一, 徳山豪, マグナス ハルドーソン, "Wireless Ad-Hoc ネットワークにおける干渉の軽減法に関する研究", 電子情報通信学会コンピュータシオン研究会, COMP2006-59, pp.67-74, 2007年3月5日, 東京 (査読なし)

[図書] (計3件)

[1] 徳山豪 オンラインアルゴリズムとストリームアルゴリズム, 共立出版, 2007, 全224ページ (単行本)

[2] Algorithms and Computation, Proc, 18th ISAAC, Springer LNCS 4835, 929 pages (2007) Takeshi Tokuyama ed, (国際会議論文集. 会議委員長として編集担当)

[3] Takeshi Tokuyama, Proceedings of RIMS Workshop on Discrete Mathematics and Computational Geometry, (2008) (数理解析研究所講究録 1641)

[その他]

ホームページ等

[1] 東北放送、東北大学の新世紀, 2009年2月16日放映, 「答えより解き方」, 徳山豪 <http://www.tohoku100-tv.jp/thisweek/090216/index.html>

[2] 東北大学 WEB マガジンコラム記事, 「アルゴリズムが世界を動かす」, 2007年10月10日, 徳山豪 <http://www.tohoku.ac.jp/japanese/webmagazine/column/col-24-tokuyama.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳山豪 (TOKUYAMA TAKESHI)
東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号: 40312631

(2) 研究分担者

全 眞嬉 (CHUN JINHEE)
東北大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号: 80431550

(3) 連携研究者

浅野 哲夫 (ASANO TETSUO)
北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授
研究者番号: 90113133