

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 4 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400189

研究課題名(和文)高次元数値表の低次元数値表分割化へのHilbertの第13問題の応用

研究課題名(英文)Application of Hilbert's 13th problem to lower dimensional decomposition of higher dimensional numerical tables

研究代表者

明石 重男 (Akashi, Shigeo)

東京理科大学・理工学部情報科学科・教授

研究者番号：30202518

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ビッグデータ処理が重要視されている今日、高次元データに対する圧縮技術、高速演算処理技術、データ転送の高速化技術などにおいて、従来の数学的手法や計算機科学的手法では対応できないことが認識されてきている。本研究では計算機科学に属する高次元数値データ処理と数学に属するヒルベルトの第13問題、すなわち多変数関数の重ね合わせ表現問題との関連性に着目し、計算機科学におけるデータ圧縮技術において、シンプソン公式に有効な数値データ圧縮方法を見出し、また数学における多変数関数表現問題において、無限回連続微分可能実関数版の解決を与えた。

研究成果の概要(英文)：It is well known that the theory of higher dimensional data compression is closely related to the theory of functions of several variables, because the 13th problem formulated by Hilbert in 1900 pointed out the way of decomposing functions of several variables into some functions of less several variables in the way of keeping reproducible would play important roles in the theory of nomographs, namely, graphs which are used to make numerical calculation without calculators much easier. The first result is to give a negative solution to the infinitely differentiable function version of the Hilbert's 13th problem and the second result is to develop a numerical-integration-oriented higher dimensional data decomposition, which can accelerate Simpson's approximate integration.

研究分野：エントロピー解析、情報理論、ネットワーク解析

 キーワード：ヒルベルトの第13問題 高次元データ シンプソン公式 DHCPスヌーピング ネットワークセキュリティ
 エントロピー 多変数関数

1. 研究開始当初の背景

数値データの容量を大きくする要因の一つとして次元をあげることができる。したがって、与えられた数値データの大容量化が、高次元性により引き起こされているものであるとすれば、もし何らかの形で、より低次元の数値データ表に分割できる技術があるとすれば、その技術は、ビッグデータを取り扱う際に必ず考えなくてはならない問題点、すなわち圧縮効率向上化とデータ転送高速化という点で、大きく貢献するのではないかというのが、研究開始当初の発想であった。この問題は、本来計算機が登場する以前に、技術者が用いていた計算尺の基礎理論となる計算図表技術として研究されていたものであるが、計算機が連続量を扱えず、どうしても離散的数値表を用いた近似計算と本質的に変わらない計算方式を用いているという点で、新たに再注目されてきたという背景が存在する。

2. 研究の目的

ビッグデータの一例となる『数値データ』は、『複数個存在する数値の配列順序を問題としない数値群データ』と『複数個存在する数値の配列順序を問題とする数値表データ』の2種類に大別される。例えば、ある高校のテスト結果を学籍番号順に配列したデータに関しては、平均や分散計算のためには順序を考慮する必要がなく、数値群データとみなせるが、成績別クラス再編成などのためには、数値表データとして扱う必要がある。数値表処理の例である『計算図表問題』は、数値表を多変数関数の実現値とみなすことで、『多変数関数重ね合わせ表現問題』に帰着させている。例えば『 $w=1/x+1/y+1/z$ 』から作られる3次元数値表は、『 $z=1/x+1/y$ 』から作られる2次元数値表を2回用いて計算可能であるため、データ圧縮に応用可能である。また、多項式 $(a+b)(c+d)$ と多項式 $ac+ad+bc+bd$ は、数学的には等価であるが、左辺は積演算1回使用であるのに対し右辺は積演算4回使用となり、計算高速化に大きな相違がある。本研究は、多変数関数族合成表現問題および同型問題」が属する数学と「数値データ圧縮理論」が属する計算機科学の相互発展を目的とする。

3. 研究の方法

3 - 1. 数学から計算機科学への応用面：データ圧縮理論は、可逆版と非可逆版に大別される。前者は文字情報を中心とするテキストデータを対象とし、後者は写真や動画を中心とした画像データを対象とする。しかし『理科年表などにみられる数値表などのデータを対象とする圧縮技術』、すなわち『データの階層構造まで保存可能な圧縮技術』

は存在しない。

3 - 2. 計算機科学から数学への応用面：区分的に連続な関数に対する Fourier 関数項級数の近似状況をグラフ表示することにより初めて確認された Gibbs 現象は、最初に電気工学的計測機により存在が確認され、一樣収束や概収束など、実関数論における関数列の収束概念に厳密な数学的定式化を与えた。また整数の組 (a,b) が与えられた時、 $ax+by=1$ を満たす整数解 (x,y) の存在を調べる問題(例えば、 $(a,b)=(3,5)$ とした場合、 $(x,y)=(-3,2)$ が解となる)という「整係数不定方程式の可解性判定プログラム作製問題」は、Hilbert の第 10 問題として知られており Matiyasevich により作製不可能という形で解決された。これはアルゴリズム論が不定方程式論に応用された例と考えられる。通常は、数学的成果を計算機科学に応用する機会が多く、計算機科学的成果を数学に応用することはあまり例を見ない。しかし、計算機科学で用いられている概念と数学で用いられている概念の間に類似性が存在する機会が多く、IT 環境安全性保持のための暗号化や高速演算に対する数学の本質的貢献が示すように、今後更に密接な相互発展が期待される。

4. 研究成果

4 - 1. 標本化関数空間の作用素論的分類：シャノンの標本化定理に対する関数解析学的基礎付けを与える標本化関数空間は、帯幅をパラメーターとする再生核ヒルベルト空間の例であることは有名であるが、本研究では、コンパクト作用素理論および ε -エントロピー理論を用いた標本化関数空間の分類方法を与え、核型空間との関係を示した。

4 - 2. コルモゴロフ-アーノルド表現の単純化の不可能性：連続関数から作られる1枚の高次元数値データ表を、複数枚の低次元数値データ表に分解する際に、コルモゴロフ-アーノルド表現に基づいた近似再生のために必要となる1変数分解関数は、2次元数値表の場合10個、3次元数値表の場合21個となり、一般的には、 n 次元数値表において、 $n(2n+1)$ 個の分解関数が必要となること、ヒルベルトの第13問題の解決の際に証明されているが、2次元数値表分割の際には、4個の1変数分解関数では不可能であることの証明を与えた。しかし、6個と8個の場合は未解決である。

4 - 3. ネットワーク構成機器であるルータやスイッチがダウンした際に発生することが予想される「インターネット接続不可能孤立領域」の発生場所および発生確率に対する定量的評価方法を、グラフ理論における最大流最小切断定理と確率論における誕生日重

複問題の手法を用いて定量的に評価する方法を示し、DHCP スプーフィング等のネットワーク犯罪対策への応用方法を提示した。

4 - 4 . 正規ユーザのパスワードを知らなくても、そのユーザがアクセスしているウェブサイトのセッション ID を抜き取ることでなりすましを実現するセッションハイジャックについて、TCP/IP に基づくデータ転送との関係を明らかにし、明示的に回線終了することがハイジャック防止策に繋がることを示した。

4 - 5 . OSPF 等コスト負荷分散機能に基づくラウンドロビン方式の packets 転送経路決定方法が、送受信経路を明示する目的で用いられる traceroute 機能に不具合を引き起こすこと、具体的には、traceroute を実行した場合の出力結果が、正しい転送経路を表示せず、実行する度ごとに異なる経路を表示してしまう問題を含んでいることを指摘した。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

{ 雑誌論文 } (計 11 件)

[1]. S. Akashi and W. Takahashi, Weak convergence theorem for an infinite family of demimetric mappings in a Hilbert space, Journal of Nonlinear and Convex Analysis, vol.17(2016), no.10, 2159-2169.
<http://www.ybook.co.jp/online2/jncav16-4.html>

[2]. S. Akashi, The embedding problem of reproducing kernel Hilbert spaces included by $L_2[0,1]$, Fixed Point Theory and Applications, 21(2016), 428-439. (査読有)
<https://fixedpointtheoryandapplications.springeropen.com/articles>

[3]. 明石重男, 藤枝俊輔, TCP 接続回線切断時点での logout 機能とセッションハイジャック持続性, Cisco Networking Academy Instructors' Meeting 2016 講究録, (シスコシステムズ優秀インストラクタ賞),
http://tcj.jp/member/services/conference/docs/2016_2-3.pdf. (査読有)

[4]. 大熊成裕, 広崎朋史, 笠井晶二, 明石重男, 太原育夫, 児玉賢史, 太陽同期準回帰衛星用観測機会探索アルゴリズムの開発, 第 59 回宇宙科学技術連合講演会講究録, 113-118, 2015. (査読有)
<http://ukaren.aero.kyushu-u.ac.jp/wiki.cgi?page=Home>

[5]. 明石重男, 藤枝俊輔, ブロードキャストフレーム解析と DHCP サーバ MAC アド

レス認証突破法, Cisco Networking Academy Instructors' Meeting 2015 講究録 (Cisco Networking Academy 優秀インストラクタ賞),
<http://tcj.jp/member/services/conference/2015/naim-program.php#2-5>. (査読有)

[6]. 明石重男, 水谷友哉, パーセプトロン収束定理とハーン・バナッハの定理の関係, 京都大学数理解析研究所講究録「非線形解析学と凸解析学の研究」, 1963(2015), 231-234. (査読無)
<http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~kyodo/kyuroku/contents/pdf/1963-31.pdf>

[7]. S. Akashi and S. Kodama, The embedding problem of the range of a Hilbert space under the compact positive operators, Journal of Nonlinear and Convex Analysis, vol.16(2015), no.11, 2297-2300. (査読有)
<http://www.ybook.co.jp/online2/jncav16-4.html>

[8]. S. Akashi, Y. Kimura and W. Takahashi, Strong convergent relative methods for generalized split feasibility problems in Hilbert spaces, Journal of Convex Analysis, vol.22(2015), no.4, 917-938. (査読有)
<http://www.heldermann.de/JCA/JCA22/JCA224/jca22049.htm>

[9]. 明石重男, 藤枝俊輔, 木下稔雅, OSPFv3 等コストマルチパス問題とトレースルート機能の非整合性, Networking Academy Instructors' Meeting 2014 講究録, (Cisco Networking Academy 優秀インストラクタ賞),
<http://tcj.jp/member/services/conference/2014/naim-program.php#2-5>. (査読有)

[10]. 明石重男, 水谷友哉, 逆問題的視点からみた Fourier 解析, 京都大学数理解析研究所講究録「非線形解析学と凸解析学の研究」, 1923(2014), 105-109. (査読無)
<http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~kyodo/kyuroku/contents/pdf/1923-12.pdf>

[11]. S. Akashi and S. Kodama, The homeomorphism problem of the ranges of a Hilbert space under the compact positive operators, Proceedings of the 3rd Asian Conference on Nonlinear Analysis and Optimization, 3(2014), 1-5. (査読有)
<http://www.ybook.co.jp/online2/jncav16-4.html>

{ 学会発表 } (計 5 件)

[1]. S. Akashi, Mathematics-oriented skills which may be abused for cybercrimes

related to the networking systems, International Conference for Leading and Young Computer Scientists 2017, Okinawa Convention Center, Ginowan City, Okinawa, Japan, Feb. 25th-28th, 2017(基調講演 〳 Best Research Presentation Award).

[2]. S. Akashi and S. Kodama, The embedding problem on the ranges of a Hilbert space under the compact positive operators, The 9th International Conference on Nonlinear Analysis and Convex Analysis, Chiang Rai University, Chiang Rai, Thailand, Jan. 21st-25th, 2016, (招待講演).

[3]. 小瀬木悠佳, 亀山眞也, 児玉賢史, 明石重男, 空間上に配置された複数レーザー光を用いたユーザーインターフェースの提案, 第15回情報科学技術フォーラム(電子情報通信学会 FIT 研究奨励賞). 富山大学五福キャンパス, 富山県富山市, 2016年9月7日-9日.
http://www.ipsj.or.jp/event/fit/fit2016/FIT2016program_web/data/html/abstract/J-048.html

[4]. 大熊成裕, 広崎朋史, 笠井晶二, 保坂鷹彬(宇宙システム開発), 明石重男, 太原育夫, 児玉賢史(東京理科大), 太陽同期準回帰衛星用観測機会探索アルゴリズムの開発, 第59回宇宙科学技術連合講演会, かごしま県民交流センター, 2015年10月7日-9日.
<http://ukaren.aero.kyushu-u.ac.jp/wiki.cgi?page=%A5%D7%A5%ED%A5%B0%A5%E9%A5%E0>

[5]. S. Akashi, Application of Fixed Point Theory and Dynamical System Theory to Collatz Conjecture, The Fourth Asian Conference on Nonlinear Analysis and Optimization, -国際数学会議サテライト会議-, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, Aug. 5th-8th, 2014. (国際数学会議 ICM2014 サテライト会議基調講演).

〔図書〕(計 4件)

[1]. Q. H. Ansari, S. Akashi, A. Alotaibi and J. C. Yao, Special Issue on Variational Analysis and Fixed Point Theory, Fixed Point Theory and Applications, Springer, 250 pages.

[2]. S. Akashi, D. S. Kim, T. H. Kim, G. M. Lee, W. Takahashi and T. Tanaka 編集, Proceedings of the Fifth International Conference on Nonlinear Analysis and Convex Analysis, Yokohama Publishers, 2015年, 359 pages.

<http://www.ybook.co.jp/online2/jncav16-4.h>

[3]. S. Akashi, D. S. Kim, T. H. Kim, G. M. Lee, W. Takahashi and T. Tanaka 編集, Proceedings of the Third Asian Conference on Nonlinear Analysis and Optimization, Yokohama Publishers, 2014年, 218 pages.
<http://www.ybook.co.jp/online2/jncav16-4.html>

[4]. 明石重男, 高橋渉編集, 数理解析研究所講究録「非線形解析学と凸解析学の研究」, 京都大学数理解析研究所, 1963巻(2015), 234頁.
<http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~kyodo/kyuroku/contents/1963.html>

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

[1]. 国際会議 International Conference for Leading and Young Computer Scientists 2017(IC-LYCS2017)における Best Presentation Award 受賞, 授賞団体 Asia Pacific Society for Computing and Information Technology.
<http://www.apscit.org/>

[2]. 平成28年度優秀インストラクタ賞, 授賞団体. Training Center Japan, Cisco Networking Academy.
<http://tcj.jp/>

[3]. 平成27年度優秀インストラクタ賞, 授賞団体. Training Center Japan, Cisco Networking Academy.
<http://tcj.jp/>

[4]. 平成26年度優秀インストラクタ賞, 授賞団体. Training Center Japan, Cisco Networking Academy.
<http://tcj.jp/>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

明石 重男 (AKASHI, Shigeo)
東京理科大学・理工学部情報科学科・教授
研究者番号：30202518

(2) 研究分担者

児玉 賢史 (KODAMA, Satoshi)
東京理科大学・理工学部情報科学科・助教
研究者番号：60632552

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし