平成１２年度~平成１４年度科学研究費補助金
(基盤研究(B)(2))
研究成果報告書

研究課題　連続体上の計算可能性問題の多角的研究

課題番号 **12440031**

は　し　が　き

研究組織

研究代表者	八杉　満利子	(京都産業大学理学部教授)
研究分担者	辻井　芳樹	(京都産業大学理学部教授)
研究分担者	鷲原　雅子	(京都産業大学理学部教授)
研究分担者	山田　修司	(京都産業大学理学部助教授・教授)
研究分担者	三好　博之	(京都産業大学理学部助教授)
研究分担者	森　隆一	(京都産業大学理学部助教授)
研究分担者	小田　秀典	(京都産業大学経済学部教授)
研究分担者	林　晋	(神戸大学工学部教授)
研究分担者	立木　秀樹	(京都大学総合人間学部助教授)
研究分担者	畑　政義	(京都大学総合人間学部助教授)
研究分担者	吉川　敦	(九州大学大学院数理学研究院教授)
海外共同研究者	Brattka, Vasco	(ドイツハーゲン大学理論情報科学研究員)

研究経費

平成１２年度	3,000 千円
平成１３年度	2,300 千円
平成１４年度	2,300 千円
総計	7,600 千円

研究発表

(1) 論文

1. 八杉満利子, 「不連続関数の極限計算可能性ー意義と問題点」, 科学基礎論研究, 日本科学基礎論学会, accepted, 2002.
2. M.Yasugi and Y.Tsujii, Two notions of sequential computability of a function with jumps, Proceedings of CCA'2002, Electronic Notes of Theoretical Computer Science 66, no.1(2002).
3. M.Yasugi, Y.Tsujii and T.Mori, Metrization of the uniform space and effective convergence, Mathematical Logic Quarterly 48, Suppl.1(2002), 123-130.
4. M. Yasugi and M. Washihara, A note on Rademacher functions and computability, to appear in Proceedings of ICWLC, World Scientific.
5. M.Yasugi, V.Brattka and M.Washihara, Computability aspects of some discontinuous functions, Scientiae Mathematicae Japonicae Online 5(2002), 405-419.
6. M. Yasugi and M. Washihara, Computability structures in analysis, Sugaku Expositions (AMS) 13, no.2(2002), 215-235.
7. Y. Tsujii, M. Yasugi and T. Mori, Some properties of the effectively uniform topological space, Computability and Complexity in Analysis, Lecture Notes in Computer Science 2064(2001), Springer, 336-356.
8. A. Higuchi, H. Miyoshi and T. Tsujishita, 2-hypercategories, to appear in Hokkaido Mathematical Journal.
9. T.Mori, On the computability of Walsh functions, Theoretical Computer Science 284, no.2(2002), 419-436.
10. T.Mori, ファイン連続関数の計算可能性, 京都産業大学論集自然科学系列 I 第 31 号 (2002), 163-220.
11. T.Mori, Computabilities of Fine continuous functions, Proceedings of CCA'2000, Springer(2002), 200-221.
12. S.Yamada, Right-handed depth first search code of plane graphs, to appear.
13. S. H. Oda, K. Miura, K. Ueda and Y. Baba, The application of cellular automata and agent model to network externalities in consumers's theory, Commerce, Complexity and Evolution(2000), Cambridge University Press, 351-370.
14. H. Tsuiki, A domain theoretic semantics of LAX generic functions, Theoretical Computer Science, to appear.
15. H.Tsuiki, Representations of complete uniform spaces via uniform domains, Electronic Notes of Theoretical Computer Science 66 no.1(2002).

16. H. Tsuiki, Real number computation through Gray code embedding, Theoretical Computer Science 284, no.2(2002),467-485.
17. H. Tsuiki, Computational dimension of topological spaces, Proceedings of Computability and Complexity in Analysis, Lecture Notes in Computer Science 2064(2001), Springer, 323-336.
18. S.Hayashi and N.Nakata, Towards limit computable mathematics, International Workshop, Type 2000, Selected Papres, Lecture Notes in Computer Science 2277(2002), Springer, 125-144.
19. M.Nakata and S.Hayashi, A limiting first order realizability interpretation, Scientiae Mathematicae Japonicae Online 5(2002), 421-434.
20. A. Yoshikawa, Interpolation functor and computability, Theoretical Computer Science 284, no.2(2002), 487-498.
21. 吉川敦, 保存則のエントロピー解の計算可能性, 数理解析講究録（京都大学数理解析研究所）1286(2002).
22. V.Brattka, Computing uniform bounds, Electronic Notes of Theoretical Computer Science 66, no.1(2002).
23. V. Brattka, Some notes on Fine computability, Journal of Universal Computer Science 8(3)(2002), 382-395.
24. V. Brattka and P. Hertling, Topological properties of real number representations, Theoretical Computer Science 284(2)(2002), 241-257.
25. V. Brattka, Random numbers and an incomplete immune recursive set, Automata, Languages and Programming, Lecture Notes in Computer Science 2380(2002), Springer, 950-961.

(2) 口頭発表

1. 八杉満利子・辻井芳樹・森隆一,「一様位相空間と計算可能性構造」, 第３６回位相空間論シンポジウム（大阪教育大学）, June 1,2002.
2. M. Yasugi, Computability structures in analysis 上記論文 6, Seminar talks （Academia Sinica, Beijing: 招待講演）, August 21-24, 2000.
3. Y.Tsujii, M.Yasugi and T.Mori, Some properties of the effectively uniformly topological space, 上記論文 7, CCA2000(The 4th Workshop on Complexity and Computability in Analysis: University of Swansea, UK), September 17-19, 2000.
4. 八杉満利子・鷲原雅子, Rademacher functions and computability, 日本数学会秋季総合分科会（京都大学）, September 24, 2000.
5. M.Yasugi, Computability problem of discontinuous functions, PA Workshop （京都市国際交流会館）January 11,2001.
6. 辻井芳樹・八杉満利子・森隆一, Some properties of the effectively uniformly topological space 上記論文 7, 日本数学会（慶應大学理工学部）, March 29,2001,
7. M.Yasugi, Computability Problems of some discontinuous functions, Symposium on Proving, Solving and Computing （つくば国際会議場: 招待講演）, June 28,2001.
8. 八杉満利子・Vasco Brattka・鷲原雅子, Some examples of computation in the limit, 日本数学会秋季総合分科会（九州大学）, October 3,2001.
9. M. Yasugi, Y.Tsujii and T.Mori, Metrization of the uniform space and computability 上記論文 3, Dagstuhl Seimnar, Computability and Complexity in Analysis (Schloss Dagstuhl), November 11-16, 2001.
10. M. Yasugi, Computability of some discontinuous functions by examples, BRICS seminar (Aarhus University), February 23 2002,
11. 八杉満利子, 不連続関数の極限計算可能性, 数理解析研究所 研究集会「数学解析の計算機上での理論的展開とその遂行可能性」（研究代表者 :吉川敦）, March 14, 2002.
12. 八杉満利子, 実効的収束について, 小野勝次先生追悼シンポジウム（静岡大学）, June 1, 2002.
13. 八杉満利子, 極限計算可能性, 科学基礎論学会（東京工業大学）, June 16, 2002.
14. M. Yasugi, Computability problems of some discontinuous functions and the uniform space, Topology in Matsue 2002 （島根大学: 招待講演), June 28, 2002.
15. M. Yasugi and Y. Tsujii, Two notions of sequential computability of a function with jumps 上記論文 2 CCA2002 (Malaga University, Malaga,

Spain), July 12, 2002.

16. 八杉満利子 ･辻井芳樹, Two notions of squential computability of a function with jumps 上記論文 2 数理科学協会年会 (大阪大学吹田キャンパスコンヴェンションセンター), September 6,2002.
17. S. Hayashi, Limit-Computable Mathematics and Proof Animation, TYPES 2000 annual meeting (Durham, England: 招待講演), December 11, 2000.
18. 中田昌弘, 林晋, Limiting recursive function による realizability interpretation とその応用, 日本ソフトウェア科学会第 14 回大会, September 20,2002.
19. S.Hayashi, Limit Computable Mathematics and Interactive Computation, The International Workshop on Rewriting in Proof and Computation (RPC'01) (東北大学: 招待講演), October 25-27, 2001
20. S.Hayashi and Y.Akama, Limit-Computable Mathematics and its Applications, CSL'02 (Computer Science Logic 2002, Edingburgh: 招待講演) September 22-25,2002.
21. T.Mori, Computability of functions on effective separable metric spaces, CCA'2000 (Swansea, UK), September 17-19, 2000.
22. T.Mori, fine-computable functions, Dagstuhl Seminar (Schloss Dagstuhl) , November 11-16, 2001.
23. A.Yoshikawa, Computability and entropy solutions of conservation laws, Dagstuhl Seminar (Schloss Dagstuhl) , November 11-16, 2001.
24. H.Tsuiki, Uniform domains and uniform spaces, Domains IV workshop (Birmingham University, Birmingham, UK), September 16-19,2002.

目 次

1　研究の背景と目的

自然数などの離散系上の計算可能性理論は, 旧来から研究されてきた. 近年この旧来の理論を越えて, 連続体上の計算可能性を目的にしたいくつかの理論が提案され注目をあびている. とくに Pour-El は,Banach 空間における点列の計算可能性の概念を公理的に定義し, その公理を満たす計算可能な点列の族を計算可能性構造と呼んだ. これによって, 不連続な実数値関数の計算可能性概念を扱うことができるようになった.

本研究の目的は上記 Pour-El の計算可能性構造の理論の拡張・応用・計算機実験・論理的基礎付けの多角的研究である. すなわち, 解析学において重要な種々な空間における数学的な概念と計算可能性との相互関係の究明, その応用として, 種々な不連続関数や空間の間の作用素の計算可能性問題およびフラクタルなど空間上の集合の計算可能性問題の解明, それらの描画アルゴリズムの研究, 応用として量子不変量や経済理論などにおける計算可能性問題, および Pour-El 理論の論理的基礎付けとそこから得られるアルゴリズムの解明, などである.

具体的な目標として設定したテーマは以下のとおりである.

理論の拡張としては（1）Frechet 空間, 2 進群, 超関数空間, 補間空間, 可分な一般位相空間などの抽象空間における計算可能性構造の決定,（2）計算可能性を考慮した数学の諸定理の証明,（3）階段関数を初め個別の不連続関数および線形作用素の計算可能性問題の解明, などを目標にする. 応用としては,（4）フラクタルなど平面図形の数学的性質と計算可能性の相互関係,（5）描画アルゴリズムの計算可能性構造理論による基礎付け,（6）計算幾何学, 結び目理論における不変量, セルラ・オートマタによる経済学理論, などの計算機実験と基礎付け, を行う. 論理的基礎付けとしては（7）実数のコード理論の精密化,（8）それに基づいて, 計算可能性構造の形式的算術体系における展開と, 型 2 チューリング機械による計算可能関数の一般理論の展開,（9）そこからのアルゴリズム抽出の研究, を行う.

本研究の特色は, 第一に関数空間の理論の論理的枠組みの, 計算可能性問題への応用にある. それにより, 統一的扱いが可能になる. とくに, ウオルシュ関数をはじめとする階段関数などを含む **Banach** 空間, **Frechet** 空間, δ 関数などを含む超関数空間, 距離空間, 一様位相空間, 有界変動関数族などの理論が有効である. これらにより, 計算可能性が一見明らかでない対象物を研究対象とすることができる. ガウス関数, 符号関数, ウオルシュ関数系, 関数の反復における挙動, 消費者行動の収束状況, などがその例である. 第二は, 図形や不連続関数の描画アルゴリズムと計算可能性の関連づけにある. 第三に計算可能性理論の形式化およびそこからのアルゴリズム抽出は, 新しい試みである.

総体的に本研究は, 関数・作用素・集合・図形などのアルゴリズムに関する異なる研究分野を横断する, 多角的な研究を目指している.

2　研究の経緯と目標の達成度

以上の背景, 目標, 意義をもって始めたプロジェクトであり, その主要目標はほぼ達成された. さらに, 将来へ続く新しい研究の端緒も得た.

初年度, すなわち平成１２年度においては, 抽象空間における計算可能性構造の理論および型２マシンの理論を中心に, 数学の種々なオブジェクトの計算可能性に関してほぼ予定通りの成果を得た. 主に扱ったテーマは次のとおりである.

1-1　一様位相空間における計算可能性構造：整数点などでジャンプするが残りの各開区間で連続な実数値関数などは不連続ではあっても計算の意味をもつ. その現象の数学的な基礎づけのために一様位相空間における計算可能性構造を導入した. すなわち, 定義域を関数が連続な部分と不連続点とに分離してそれぞれに位相を導入し, それらを合併した新しい一様位相空間とみなした. そこにおける関数の計算可能性などを定義し, 多くの例および反例を与えた.（辻井・八杉・森）

1-2　関数解析における計算可能性：有界変動関数族における計算可能性, および Banach 空間の複素補間空間理論が計算可能性構造と両立すること, などを示した.（鷲原・吉川）

1-3　型２マシンによる数学の計算可能性：型２マシンによる実数および諸空間の表現によって, 線形部分空間の次元の計算方法, スペクトル定理の計算可能版, などを示した.（Brattka）

1-4　Gray コードによる計算：Gray コードへの埋めこみによる実数の計算およびその応用としての位相空間の次元の計算可能性についての条件を提示した.（立木）

1-5　計算可能性の論理構造：不連続関数は多くの場合 Σ^0_1-排中律の各ケース内では通常の計算アルゴリズムをもつことがわかる. それはまた極限再帰関数を使った計算としても表される. この状況は存在記号の関数解釈によって基礎付けられるが, それはまた例による証明検証とも関係があることがわかった.（林・八杉）

1-6　現象としての計算可能性：消費者理論におけるネットワーク体系へのセラ・オートマタの応用, 具体的な実数の計算理論, 結び目理論における Vssiliev 不変量を共有する簡単な異なる結び目の構成などが実現した.（小田・畑・山田）

初年度の進展を受けて, 平成１３年度には, さらにそれらを深めて行った.

2-1 Gauss 関数,Rademacher 関数のような関数（例）の関数空間（Banach 空間,Frechet 空間等）における点（例）としての計算可能性, Σ^0_1-排中律の中での計算可能性, 極限計算可能性, 位相の変換によって連続化した関数の計算可能性, を示した. 位相の変換は, 不連続な点を分離して離散位相を導入し, その点での計算は開区間における計算とは独立して行う. この方法は人間や計算

機による計算および描画の自然な数学的表現になっている. また, 極限計算可能性は広い範囲の関数に適用できる. （八杉・Brattka・鷲原・辻井・森）

2-2 極限計算可能性を構成的算術にΣ^0_1-排中律を加えた体系の関数解釈で基礎付けることができた. これにより準構成的原理と数学の定理との相互関係の解明という新しい分野にもつながってくる. （林）

2-3 Gray コードによる実数の表現の研究を深めて, 実数の位相的な次元の概念を定義することができた. （立木）

2-4 計算可能性構造をもつ一様位相空間とその距離化における実効的収束の同値性, 実効的補間空間上のファンクターの計算可能性, 距離空間の計算可能性問題等, 計算と数理的現象との関連が深まった. （八杉・辻井・森・吉川）

平成１４年度, すなわち最終年には主目標をほぼ予定どおり仕上げた. すなわち, 連続体上における Pour-El 流の計算可能性構造の理論の１．拡張, ２．応用, 形式化, である.

3-1 不連続関数, とくに区分的連続関数, の計算可能性問題を扱った. すなわち, 孤立した不連続点における関数値の計算の基礎付けである. そのために, 極限計算の理論の構築, 一様空間における計算可能性構造の理論の展開, その距離化における実効的収束保存性の証明, 極限計算と実数空間の一様化における関数の列計算可能性の同値性証明, などを実行した. また, カテゴリー, Fine 距離等による計算表現の理論も展開した. （八杉・辻井・三好・森・Brattka）

3-2 具体的な関数への, １．の応用を検証した. また, 非粘性偏微分方程式の求解の実効性証明, 補間空間における作用素の計算可能性,Banach 空間における作用素の上限計算の計算可能性, などで, 肯定的な結果が得られた. さらに,Fine 距離化およびドメイン理論の応用として, 実数の表現の理論を構築し, 不連続な点での計算の基礎を築いた. （吉川, 森・立木）

3-3 極限計算の形式的体系を設定し, その関数解釈を与えた. また, 種々な構成的原理と極限計算の公理との論理的相互関係の解明を行った. （林・八杉）

とくに,3-1 の同値性,3-3 の論理的相互関係, においては, 当初の予定を越えて, 次の目標, すなわち, 区分的連続関数の計算可能性の特徴づけへの第一歩を踏み出したといえる.

研究組織の構成員はセミナーおよび e-mail 連絡によってたえず研究連絡を行った. セミナーの記録は４節（会議録）に述べる.

3　研究途上において得られた重要な新知見

3.1　不連続点での計算

不連続関数の計算可能性について,Pour-El and Richards による関数解析的手法の有効性は多くの例で検証されている. それは, 離散的な不連続点を無視することによって連続関数列で近似する, その近似率の実効的コントロールの理論によるものである. 他方, 多くの区分的連続関数について, 我々は不連続点における関数値を気楽に計算する. その行為の解釈は数学におけるアルゴリズムの研究では重要な問題である. 本課題で提案された研究目的に沿って, この問題の研究は格段に進んだ. しかも, どのような観点からこの研究を行うべきか, その視点が次第に確立されてきた. さらに, 一見かなり異なる観点における計算可能性が妥当な制限化では同値であることも判明した. その状況を, 主な論文の内容の解説という形態で, 視点の分類にしたがって延べてゆく.

一般に, 次のような実数関数を, 区分的計算可能関数とよぼう :実数上の区分的連続関数で, 不連続点が計算可能実数列で与えられ, 計算可能な入力に対する関数値は計算可能であり, 隣接する不連続点間の関数の族が一様に計算可能である. 本課題の研究対象は主に区分的計算可能関数である.

3.2　極限計算可能性

ガウス関数のように, 区分的計算可能関数で, しかも不連続点が整数点であり, その間の開区間では定数であるような単純な不連続関数をガイドとして, 不連続点での関数値の計算過程を分析した (文献 5) . この場合, 個々の関数値自体は計算可能であるから, 問題はその一様な計算方法があるか, ということになる. まず一つの不連続点での計算アルゴリズムを記述し, 入力値の列に対しては一様な計算アルゴリズムがない例を提示した. すなわち, このような関数は列計算可能ではないことを明示した.

では, このような関数は, どのような意味で計算可能といえるだろうか. この設問に対して, 極限計算可能性という概念を提案し, それを上記のような多くの関数に対して実証した. 極限計算可能な関数とは, 計算過程で, 再帰的関数の極限 (それが存在するならば) という操作を認め, 入力の列に対して, 関数値の列は, 値の近似列そのものは再帰的に計算されるが, 近似率は極限計算を必要とするものである. 正しい値に限りなく近づいているが, 人はいつどのくらい近いのか, ということを極限概念なしには知ることができない, という特徴を現している. ガウス関数は上半計算可能でもあるが, 上半計算可能性は極限計算可能性に含まれる.

この分析においては, また, 上記のような関数の計算は Σ_1^0 排中律の中では通常の意味で計算可能, ということもわかった. さらに, 二つの Fréchet 空間,$\mathbf{R}^{\mathbf{Z}}$ および $L^1_{loc}(\mathbf{R})$, の要素として計算可能であることも示せた. 以上の状況から,

区分的計算可能関数の種々な特徴づけの間の関係が, 新たな研究対象として浮上し, 今後の研究課題になった.

3.3　実効的一様空間

ここでもガウス関数をガイドとして, 人がふ連続点における関数値を実際に計算する行為の数学的な妥当化を試みた（文献 7）. 我々がそのような計算をするのは, 不連続点を, 連続点の集合から分離する, すなわち不連続点を孤立点とみなす, ということに相当する. このように実数空間の位相を変更すれば, 区分的連続関数は全空間で連続関数になる. したがって, ユークリッド位相における区分的連続関数の計算可能性問題は, 一様位相空間における連続関数の計算可能性問題に帰着される. このような発想が実際に実現することを実証した.

可算一様性をもつ空間と距離空間は, 位相的に同値であることが知られているが, このとき計算可能性に関する同値性が一つの課題になる. すなわち, 可算一様性から一般的な手法で導かれる距離において, 点列の計算可能性が保存されるか, とう問題である. この一般的な命題は未解決である. しかし, 実効的収束性に関しては, 同値であることが示された（文献 3）.

3.4　極限計算と一様空間

以上で述べたように, 区分的連続関数の不連続点における関数値計算の理論の間の関係の解明が次の課題になってきた. その第一歩として, ユークリッド位相における計算可能実数列と, 上記のような一様空間における計算可能実数列との相互関係を解明した. すなわち, 後者は前者の一部であるが, 前者は後者で近似できる. ただし近似率は極限再帰関数で与えられる. この事実をもとに, 区分的計算可能関数について, ユークリッド位相においての極限計算可能性と一様位相においての（連続関数としての）計算可能性との同値性を示した. すなわち, ユークリッド位相における計算可能実数列に対する関数値列が極限計算可能であることと, 一様位相における計算可能実数列に対する関数値列が計算可能であることと, 同値である（文献 2）.

この結果は, 将来の課題につながる.

3.5　Walsh 解析の手法

実数の位相変換については, Fine 距離を用いることも可能である（文献 9）. ユークリッド距離では不連続なある種の関数が Fine 距離では連続になる. 一般的な距離空間における計算可能性理論と, それに関する連続関数の計算可能性理論を適用し, 区分的連続関数で右連続かつ左極限をもつものについての計

算可能性, とくに Walsh 関数族の計算可能性を示した. 一様 Fine 計算可能関数に対して, そのウオルシュ・フーリエ係数の列が計算可能になること, ウオルシュ・フーリエ級数の第 2^n 部分和の列がもとの関数に実効的に一様収束すること, その結果の局所一様ファイン計算可能関数への拡張等が確立された.

Fine 距離空間における関数の計算可能性問題には, いくつかの解釈が可能である. それらに対応する, ユークリッド距離における関数の族の決定も行われた（文献 11,23）.

3.6 極限計算可能数学の体系

極限計算可能性をもつ数学の論理的な分析のために, 形式的体系 LCM が定義された.（文献 18）LCM は, 古典数学の体系の一部分であり, 排中律が Δ^0_2-論理式に限定される. まず LCM を解釈する汎関数の族を決定した. 体系 LCM は証明アニメーションや学習理論との関連もあり, 将来研究が発展することが予想される. さらに, この LCM の汎関数による解釈から, 極限計算アルゴリズムの合成を試みた（文献 19）. 現在極限計算に対応する原理と, 構成的数学の諸原理との関係の研究が進んでいる.

3.7 関数解析における計算可能性

関数解析における諸定理の実効化は, 本課題の一つの主眼である. たとえば,Banach 空間の計算可能性構造から補間空間の計算可能性構造を導入し, その間の有界線形作用素の実効性（文献 20）, 非粘性偏微分方程式の解について, 初期条件の計算可能性が解の計算可能性に反映されること, などが証明された. また, Banach 空間上の有界線形作用素の一様な上界の計算に関して種々な状況下での計算可能性・不可能性の分析を行った（文献 22）.

3.8 実数の構造

実数および実数上の関数の計算可能性問題の研究には, ドメイン理論が有効であることが分かった（文献 15）. その基礎として, 完全一様空間が一様ドメインの理論によって表現されることが示された. 一様ドメインとは,ω-代数的なドメインで, その上の有限要素の集合にある種の一様性が定義できるものである. また, 実数のグレイコードによる表現も, 実数の計算の実行に有効である（文献 16）.

実数の構造については他にも, 無限記号列による実数の表現, 実際には一般に位相空間の要素の表現, に関するいくつかの結果を得た（文献 24）.

4　付記 :会議録

当該研究費によるセミナー （CC-Seminar) 記録

平成１２年度

- ２０００年7月２２日-２３日　京都産業大学

八杉満利子: 連続体上の計算可能性問題と, 研究目的

吉川敦: Besicovitch 被覆定理に内蔵されるアルゴリスム構造 とその実解析における意義

立木秀樹: 拡張された文字列への実数の埋め込みと計算可能性

森隆一: Walsh 関数系の計算可能性について

小田宗兵衛 ・岩崎敦: Simulation cheap-talk games

山田修司: Repetition free sequences

中田昌宏: Limiting Recursive Function による realizability interpretation

林晋: Some problems of Limit Computable Mathematics

鷲原雅子: シュワルツ超関数の空間と計算可能性

- ２０００年１２月１６日-１７日　京都市国際交流協会

Vasco Brattka: An approach to computable linear algebra

Masayoshi Hata: Rational approximations to π

Atsushi Yoshikawa : The inviscid Burgers' equation and computability

Masako Washihara and Takamuki : Computability and functions of bounded variations

Hajime Ishihara: Sequential continuity in constructive analysis

Vasco Brattka : Recursive quasi-metric spaces

Susumu Hayashi : Relations between BSS machines and LCM

Hiteki Tsuiki : Computational dimension of the topological space

- ２００１年2月１７日　京都市国際交流協会

Peter Hertling: Left-computable random numbers

- ２００１年3月１６日　京都産業大学

高橋 大輔: 構造の抽出と離散化—超離散化の試み

平成１３年度

- ２００１年9月２１日-２２日　京都産業大学;　２３日　東山三条ホテル

Takakazu Mori: Fine metric and computability

Yoshiki Tsujii, Markio Yasugi, Takakazu Mori: Metrization of Uniform space and computability

Hideyuki Suzuki: Complex behaviour of a simple PD model

Eizo Akiyama: Evolution of Cooperation in Social Dilemma: Dynamical Systems Game Approach

Kouki Hojo: Disjointness of random sequences with respect to distinct ergodic measures

Izumi Takeuti: Representations of Functionals

Atsushi Yoshikawa: Computability discussions on the solutions of hyperbolic systems of conservation laws

Masanao Ozawa: Quantum Computability and Complexity

Sobei H. Oda: Economic experiments

Yoji Akama: Representation of real numbers with the golden ratio and the friends

Susumu Hayashi: LCM and BSS

Vasco Brattka: The uniform boundedness theorem in computable analysis

Hideki Tsuiki: TBA

平成１４年度

- ２００２年度１１月１日-２日　京都産業大学

Peter Hertling: A Banach-Mazur computable but not Markov computable function on the computable real numbers

- ２００２年１２月１３日　京都産業大学

Douglas Bridges and Luminita Simona Vita: Apartness spaces as a foundation for constructive topology

- ２００２年１２月１４日-１５日　京都市国際交流会館; １６日　京都大学数理解析研究所　(ALGI と共催)

Takakazu Mori: Toward an effective theory of Walsh-Fourier series

Ulrich Kohlenbach: A logic-based approach to functional analysis on convex metric spaces

Yoshiki Tsujii and Mariko Yasugi: Two notions of sequentially computable functions

Shuji Yamada: Topological invariant of knotted graphs,and other topics

Alex Simpson: Higher-type continuity

Atsushi Yoshikawa: On an ad hoc computability structure of a Hilbert space

Sobei H. Oda: Search and choice under uncertainty

Susumu Hayashi:

Kazuyuki Aihara: Analog computation by chaotic neural networks

Yoji Akama: Systems of typed limiting computations

Hajime Ishihara: Pointwise and cequential continuity in constructive analysis

Izumi Takeuti: Computable structure and effective categoricity

Hideki Tsuiki: Dimension of limits of algebraic domains

Hiroyuki Miyoshi: Mereotopology and computation

- ２００３年2月１９日・２１日　京都産業大学

Vasco Brattka: Computable versions of the uniform boundedness theorem
Vasco Brattka: The Computable Graph Theorem

5 研究論文

以下, いくつか典型的な論文を掲載する.

1. 文献 2: Two notions of sequential computability of a function with jumps by M.Yasugi and Y.Tsujii
2. 文献 3: Metrization of the uniform space and effective convergence by M.Yasugi, Y.Tsujii and T.Mori
3. 文献 5: Computability aspects of some discontinuous functions by M.Yasugi, V.Brattka and M.Washihara
4. 文献 7: Some properties of the effectively uniform topological space by Y. Tsujii, M. Yasugi and T. Mori
5. 文献 15: Representations of complete uniform spaces via uniform domains by H.Tsuiki
6. 文献 18: Towards limit computable mathematics by S.Hayashi and N.Nakata
7. 未出版論文: A computability analysis of the inviscid Burgers equation by A.Yoshikawa
8. 文献 22: Computing uniform bounds by V.Brattka