研究業績書

高崎金久

I. 著書・訳書

1. コマの幾何学 — 可積分系講義 —， Michele Audin 著，高崎金久訳．共立出版 2000 年 3 月．A5 判 222pp.（原著：Michele Audin, Spinning Tops — A course on integrable systems, Cambridge University press, 1996.）（概要）原著はオイラー，ラグランジュ，コワレフスカヤの名を冠する 3 種類のコマの運動方程式を題材にして，有限次元可積分系の幾何学的側面を詳細に紹介する，きわめて特色ある本である．長い付録ではこれらの具体的な例の考察の背景をなす数学的知識（ポアソン構造，AKS の定理，固有ベクトル写像，代数曲線，ヤコビ多様体，プリム多様体）を要領よく解説している．

2. 可積分系の世界 — 戸田格子とその仲間 —．共立出版 2001 年 3 月，復刊 2013 年 7 月．A5 判 320pp.（概要）代表的な可積分系である戸田格子を中心に据えて，その周辺に位置する戸田場の方程式，戸田階層，カロジェロ系から，性格の異なる KP 階層，ライセナール系，無分散可積分階層に至るまで，関連性を重視しつつさまざまな可積分系を解説した．いたずらに一般性を追究することは避けて，典型的な場合に焦点を絞り，考察や計算の細部もなるべく省略しないで示すよう努めた．

3. ツイスターの世界 — 時空・ツイスター空間・可積分系 —．共立出版 2005 年 5 月．A5 判 280pp.（概要）日本語による初の本格的な解説書として， ツイスター理論の本来の姿（ツイスター空間と時空の 対応関係，無質量自由場の積分表示）からその後のさまざまな方向への発展（コホモロジー的定式化， ゲージ場の取り扱い，重力場の取り扱い）までを包括的に紹介した．また，そのために必要になる幾何学的な概念（複素多様体，正則線形束，層係数コホモロジーなど）も解説した．

4. 岩波数学辞典第 4 版．日本数学会編，岩波書店 2007 年 3 月．菊判 2000pp．分担執筆，項目「ソリトン」（pp. 769–771）.（概要）ソリトン理論に関して，ソリトン方程式の例，ラックス表示と逆散乱法，ハミルトン構造，代数幾何学的方法，双線形化法，KP 階層の各項目に分けて，基本的な用語や概念を説明した．

5. 現代数理科学事典第 2 版．広中平祐編，丸善 2009 年 12 月．B5 判 1454pp．分担執筆，項目「ソリトン」（pp. 89–92）.（概要）大項目「物理の数理」の中の「力学」の 1 項目として，数学・数学・数理物理学的な観点から，ソリトンの発見の経緯，逆散乱法とラックス表示，保存料と可積分性，さまざまな方程式・手法，双線形化法，KP 階層，その他の話題について解説した．

6. 線形代数と数え上げ．日本評論社 2012 年 6 月．A5 判 189pp.（概要）数学セミナー 2010 年 4 月号–2011 年 6 月号の連載記事を単行本化したもの．線形代数的手法によって数え上げ問題を解く話題を紹介した．前半では非交差経路の数え上げ公式である Lindström-Gessel-Vienno（LGV）公式とその 3 次元ヤング図形やシューア函数への応用を解説した．後半では行列式・パフ式を用いてグラフの完全マッチングや全域木の数え上げ問題を解く手法を説明した．

II. 学術論文 (A)

1. Singular Cauchy problems for a class of weakly hyperbolic differential operators, 単著, 1982 年 10 月, Comm. Partial Differential Equations 7, no. 10, 1151–1188.（概要）初期面において特性根が一定の次数で重複するような双曲型偏微分作用素に対して，複素領域での浜田型特異コーシー問題を考察した．常微分方程式の解の漸近解析とラドン変換の解析的シンボルの理論を組み合わせて，コーシー問題の解を構成した．

2. Toda lattice hierarchy, 共著, 1984 年 3 月, “Group Representations and Systems of Differential Equations”, Adv. Stud. Pure Math. vol. 4 (North-Holland, Amsterdam), pp. 1–94. （共著者） Kimio Ueno, Kanehisa Takasaki （概要）2 次元時空の戸田方程式に対して無限個の高次時間発展からなる戸田格子階層を構成し，ラックス方程式，補助線形方程式，τ 函数，広田方程式，特殊化，特殊解などを論じた．また BKP 階層や CKP 階層に相当する階層や多成分版の階層も構成し，周期的簡約や既知の可積分系との関係を調べた．

3. Initial value problem for the Toda lattice hierarchy , 単著, 1984 年 3 月, “Group Representations and Systems of Differential Equations” Adv. Stud. Pure Math. vol. 4 (North-Holland, Amsterdam), pp. 139–163. （概要）戸田格子階層のラックス方程式系に対して初期値問題を設定し，その解を有限格子版の初期値問題の解からの極限として構成した．有限格子版の初期値問題は行列のガウス分解を用いて解くことができて，τ 函数も具体的にわかる．この τ 函数をシューア函数展開して，それが代数的な意味で無限格子に極限移行できることを示した．

4. A new approach to the self-dual Yang-Mills equations, 単著, 1984 年 1 月, Comm. Math. Phys. 94, no. 1 , 35–59. （概要）4 次元時空の自己双対ヤン-ミルズ方程式の一般解（形式的べき級数解）に対して無限次元グラスマン多様体による記述を与えて，自己双対ヤン-ミルズ方程式をソリトン方程式の高次元化として位置づけた．ソリトン方程式には解が無限次元グラスマン多様体の点に対応するが，自己双対ヤン-ミルズ方程式の場合には，その高次元性を反映して，解が 2 次元空間からグラスマン多様体への写像に対応する．

5. Aspects of integrability in self-dual Einstein metrics and related equations, 単著, 1986 年 12 月, Publ. RIMS, Kyoto Univ., 22, no. 5, 949–990. （概要）自己双対アインシュタイン方程式（自己双対計量の方程式）を高次元可積分系として扱うこと

をめざして，微分形式やベクトル場による方程式の表現，補助線形方程式とツイスター理論の関係，2 次元面積保存写像群のループ群における分解問題（非線形リーマン-ヒルベルト問題）などを論じた．なお，最後に触れた無限次元グラスマン多様体による解釈には後日誤りが見つかったので，正しい取り扱いを論文 12 の中で示した．

6. Integrable systems as deformations of D-modules, 単著, 1989 年 4 月, “Theta Functions — Bowdoin 1987”, Proc. Symp. Pure Math. vol. 49 (Amer. Math. Soc. Province, RI), Part I, pp. 143–168. （概要）前半では KP 階層などのソリトン方程式を D 加群の変形理論として扱う佐藤幹夫の提案について解説し，後半ではその高次元 D 加群への一般化や自己双対ヤン-ミルズ方程式や自己双対計量の方程式の取り扱いを論じた．高次元への一般化にはさまざまな困難が伴うことを注意し，自己双対ヤン-ミルズ方程式などの例における特殊事情を指摘した．

7. Symmetries of the super KP hierarchy, 単著, 1989 年 5 月, Lett. Math. Phys. 17, no. 4, 351–357. （概要）KP 階層の超空間への拡張である超 KP 階層に対して D 加群の変形理論としての定式化を与えて，この方程式が超空間版無限次元グラスマン多様体の上の力学系に変換できることを示した．さらに τ 函数を定義し，リー超代数 $gl(\infty|\infty)$ の 1 次元中心拡大の構造をもつ無限小対称性を構成した．

8. Geometry of universal Grassmann manifold from algebraic point of view, 単著, 1989 年 6 月, Rev. Math. Phys. 1, no. 1, 1–46. （概要）KP 階層の理論の基礎となる無限次元グラスマン多様体について，代数的な視点を強調しつつ解説した．プリュッカー座標を徹底的に用いて一般線形群の無限小作用がリー代数 $gl(\infty)$ の 1 次元中心拡大を生じることを幾何学的に説明し，多成分理論への拡張にも言及した．

9. An infinite number of hidden variables in hyper-Kähler metrics, 単著, 1989 年 6 月, J. Math. Phys. 30, no. 7, 1515–1521. （概要）4 次元の自己双対計量はリッチ平坦なケーラー計量とみなすことができる．超ケーラー計量はその 4 の倍数次元への一般化である．本論文では超ケーラー計量の方程式に対してツイスター理論に由来する補助函数の組を導入し，無限個の高次時間発展を構成するとともに，ケーラーポテンシャルやプレバンスキーポテンシャルの新たな意義を明らかにした．

10. Hierarchy structure in integrable systems of gauge fields and underlying Lie algebras, 単著, 1990 年 2 月, Comm. Math. Phys. 127, no. 2, 225–238. （概要）自己双対ヤンミルズ方程式とその高次元的拡張に対して無限個の高次時間発展を構成し，無限小対称性のリー代数構造を論じた．従来知られていたループ代数の構造をもつ無限小対称性よりも大きな対称性が存在し，その中でこれらの可積分系に固有のラックス方程式の構造も説明できることを指摘した．

11. Differential algebras and D-modules in super Toda lattice hierarchy, 単著, 1990 年 4 月, Lett. Math. Phys. 19, no. 3, 229–236. （概要）戸田階層の超空間への拡張である超戸田格子階層に対して D 加群の変形理論としての定式化を与えて，この方程式が超空間版無限次元グラスマン多様体の力学系に変換されることを示した．それに基づいて τ 函数の定義や無限小対称性の構成を論じた．

12. Symmetries of hyper-Kähler (or Poisson gauge field) hierarchy, 単著, 1990 年 8 月, J. Math. Phys. 31, no.8, 1877–1888. （概要）超ケーラー計量の方程式とその高次時間発展の階層に対して，正準変換群のループ群による非線形リーマン-ヒルベルト問題と無限小対称性を論じた．ループ群の作用はツイスター理論に由来する補助函数（ダルブー座標）の非線形変換として定義される．この変換はきわめて複雑なものであるが，無限小変換は具体的で簡潔な形に書けることがわかった．

13. Structure and duality of D-modules related to KP hierarchy, 共著, 1991 年 10 月, J. Math. Soc. Japan 43, no. 4, 751–773. （共著者）Toshikazu Miyajima, Atsushi Nakayashiki, Kanehisa Takasaki （概要）KP 階層に対する D 加群の変形理論としての解釈を抽象化して，無限次元グラスマン多様体を大域的なベクトル場 ∂ をもつ多様体（微分代数多様体）として再定式化した．さらに，KP 階層の解釈の要である 2 種類の D 加群に対して，コホモロジー的性質や双対性などを論じた．

14. SDiff(2) Toda equation — hierarchy, tau function and symmetries, 共著, 1991 年 11 月, Lett. Math. Phys. 23, no. 3, 205–214. （共著者）Kanehisa Takasaki, Takashi Takebe （概要）戸田場の方程式の連続体極限として得られる 3 次元空間の方程式にツイスター理論の観点を導入して，ラックス表示，高次時間発展の階層（今日，無分散戸田階層と呼ばれるもの），τ 函数，非線形リーマン-ヒルベルト問題，無限次元対称性を論じた．ラックス表示や無限小対称性の記述は自己双対計量の方程式の場合とよく似たものになるが，τ 函数の概念は自己双対計量の方程式にはなく，ソリトン方程式としての戸田場の方程式の特徴はこの方程式にもある程度受け継がれていることがわかった．

15. SDiff(2) KP hierarchy, 共著, 1992 年 7 月, “Infinite Analysis”, Adv. Ser. Math. Phys. vol. 16 (World Sci. Publ., River Edge, NJ), part B, pp. 889–922. （共著者）Kanehisa Takasaki, Takashi Takebe （概要）KP 階層の無分散極限（今日，無分散 KP 階層と呼ばれるもの）にツイスター理論の観点を導入し，ラックス表示，τ 函数，非線形リーマン-ヒルベルト問題，無限次元対称性など可積分系としての基本的構造を詳細に解明した．その応用として，位相的共形場理論の A 型極小模型をこの無分散可積分系の特殊解として考察し，非線形リーマン-ヒルベルト問題による特徴付けやビラソロ拘束条件の導出などを行った．

16. Volume-preserving diffeomorphisms in integrable deformations of self-dual gravity, 単著, 1992 年 9 月, Phys. Lett. B285, no. 2, 187–190. （概要）自己双対計量の変種である共形的自己双対計量の場の方程式に対してラックス表示の構造を考察した．自己双対計量の方程式や無分散 KP 階層・無分散戸田階層の場合には 2 次元の面積保存写像の群がラックス表示において基本的な役割を果たすが，今の場合には同じ役割を 3 次元の体積保存写像の群が演じることが明らかになった．

17. Quasi-classical limit of Toda hierarchy and W-infinity symmetries, 共著, 1993 年 7 月, Lett. Math. Phys. 28, no. 3, 165–176. （共著者）Kanehisa Takasaki, Takashi Takebe （概要）戸田階層をプランク定数 $\hbar$ に依存する形で再定式化し，$\hbar$ を 0 に近づける準古典極限によって無分散戸田階層のさまざまな性質や構造が戸田階層か

ら導出できることを示した．この準古典極限は補助線形問題においては波動函数のWKB近似に相当し，τ函数においてはランダム行列模型の行列サイズNを無限に大きくする極限での分配函数の漸近形と本質的に同じものになる．

18. Integrable hierarchy underlying topological Landau-Ginzburg models of D-type, 単著, 1993年10月, Lett. Math. Phys. 29, no. 2, 111–121. （概要）位相的共形場理論のD型極小模型を特殊解にもつような無分散可積分階層を構成し，その中でD型極小模型の特徴づけを与えた．この無分散可積分階層は無分散戸田階層と同様に2系列の高次時間発展をもち，非線形リーマン-ヒルベルト問題によって解が特徴付けられる．D型極小模型に対応する特殊解はこのリーマン-ヒルベルト問題を実際に解くことによって構成される．

19. Dressing operator approach to Moyal algebraic deformation of selfdual gravity, 単著, 1994年8月, Journal of Geometry and Physics 14, no. 8, 111–120. （概要）自己双対計量を特徴付けるプレバンスキー方程式はポアソン括弧を用いて書かれた非線形微分方程式である．Strachanはこのポアソン括弧をモアイヤル代数の交換子に置き換えた方程式をプレバンスキー方程式の変形として提案した．この方程式に対してソリトン理論のdressing operatorの類似物を導入して，KP階層や戸田階層と同様の意味で可積分系であることを示した．

20. Nonabelian KP hierarchy with Moyal algebraic coefficients, 単著, 1994年11月, Journal of Geometry and Physics 14, no. 4, 332–364. （概要）モアイヤル代数係数の擬微分作用素を用いてKP階層の高次元的拡張を構成し，その可積分性の意味，自己双対重力との関係，古典極限として得られる無分散系のラックス方程式の構造などについて論じた．モアイヤル代数が$gl(N)$や$su(N)$の$N \to \infty$における極限とみなせることに対応して，この高次元拡張はN-成分KP階層の$N \to \infty$における極限と考えることもできる．

21. Dispersionless Toda hierarchy and two-dimensional string theory, 単著, 1995年6月, Comm. Math. Phys. 170 (1995), no. 1, 101-116. （概要）自己双対半径にコンパクト化された2次元弦理論のタキオン状態の相関函数系が古典極限において無分散戸田階層のある特殊解と対応することを示した．タキオン状態の相関函数系は無限個の漸化式を満たすことが知られている．これらの漸化式を非線形リーマン-ヒルベルト問題に翻訳することによって，無分散戸田階層の特殊解との対応を説明した．2次元弦理論に内在すると期待される余剰状態の代数的構造をこのような対応関係に基づいて説明することも試みた．

22. Symmetries and tau function of higher dimensional dispersionless integrable hierarchies, 単著, 1995年7月, J. Math. Phys. 36, no. 7, 3574–3607. （概要）モアイヤル代数係数のKP階層の古典極限は無分散KP階層の高次元拡張を与える．4次元の正準変換に関する非線形リーマン-ヒルベルト問題を導入して，この高次元拡張が無分散KP・戸田階層と同様の意味で可積分性や無限次元対称性をもつことを示した．さらに，無分散KP・戸田階層にはなかった2個の空間的余剰次元をトーラスに

コンパクト化すれば，τ 函数の概念も導入できる．τ 函数に拡張された無限小対称性は 4 次元ポアソン代数の中心拡大を生じる．

23. Integrable hierarchies and dispersionless limit, 共著, 1995 年 7 月, Rev. Math. Phys. 7, no. 5, 743–808. （共著者）Kanehisa Takasaki, Takashi Takebe （概要）KP・戸田階層の無分散極限である無分散 KP・戸田階層について包括的なレビューを行った．また，新たな成果として，無分散階層のラックス表示に dressing operator の概念を導入できることや，KP 階層の τ 函数に対する微分フェイ等式が KP 階層自体と同値であることを報告した．dressing operator を用いることによって，無分散階層のラックス表示や非線形リーマン-ヒルベルト問題の基礎がより明確なものになった．

24. Quantum and classical aspects of deformed $c = 1$ strings, 共著, 1995 年 8 月, Nucl. Phys. B443, no. 1–2, 155–197. （共著者）T. Nakatsu, K. Takasaki, S. Tsujimaru （概要）変形された $c = 1$ 弦理論を 1 次元行列量子力学系として定式化し，量子論と古典論の両面を考察した．この模型は 2 個のパラメータをもち，摂動論的弦理論としての解釈は一意的ではないが，典型的な 2 つの場合に議論の焦点を絞った．さらに，理論を自己双対半径にコンパクト化して，タキオン散乱振幅の母函数を戸田階層の τ 函数とみなし，ラックス形式においてそれを特徴付ける弦方程式を導出した．この弦方程式の古典極限は模型のパラメータに依存しない，ということもわかった．

25. Whitham-Toda hierarchy and $\mathcal{N} = 2$ supersymmetric Yang-Mills theory, 共著, 1996 年 2 月, Modern Phys. Lett. 11, no. 2, 157–168. （共著者）Toshio Nakatsu, Kanehisa Takasaki （概要）$\mathcal{N} = 2$ 超対称 $SU(N)$ ヤン-ミルズ理論の低エネルギー有効理論（サイバーグ-ウィッテン理論）が戸田階層のウィッタム変調方程式の斉次性をもつ解に対応することを指摘した．この変調方程式は戸田階層の準周期解（実際には，周期的戸田格子の解）の変調を記述するもので，サイバーグ-ウィッテン理論に現れる超楕円曲線はこの方程式に従って変形する．また，サイバーグ-ウィッテン理論のプレポテンシャルは戸田階層の τ 函数と関係している．

26. Toda lattice hierarchy and generalized string equations, 単著, 1996 年 9 月, Comm. Math. Phys. 18, no. 1, 131–156. （概要）位相的重力理論のコンツェビッチ行列模型とコンパクト化された $c = 1$ 弦理論を戸田階層の解として論じ直した．結果として，一部の文献が主張していた一般化コンツェビッチ模型と $c = 1$ 弦理論の対応関係が誤りであることを指摘した．さらに，これらの模型に対応する解を含む，より広いクラスの解を構成し，それらが一般化された弦方程式を満たすことを示した．このクラスの解における $c < 1$ 弦理論の位置づけも論じた．

27. Isomonodromic deformations and supersymmetric Yang-Mills theories, 共著, 1996 年 11 月, Internat. J. Modern Phys. A 11, no. 31, 5505–5518. （共著者）Kanehisa Takasaki, Toshio Nakatsu （概要）$\mathcal{N} = 2$ 超対称ヤン-ミルズ理論のサイバーグ-ウィッテン有効理論に内在する可積分構造の由来を等モノドロミー変形の言葉で説明することを試みた．有効理論の構造自体は等モノドロミー変形の WKB 近似として理解できる．さらに，ウィッタム変調方程式も WKB 近似より精密な「多重スケー

ル解析」の考え方を用いれば説明できる．同様の観点から，III 型パンルベ方程式や位相的シグマ模型の $t\bar{t}$ 融合方程式との関係についても触れた．

28. Dual isomonodromic problems and Whitham equations, 単著, 1998 年 1 月, Lett. Math. Phys. 43, no. 2, 123–135. （概要）この論文はシュレジンガー方程式に関する論文 31 （出版が遅れて時間的順序が逆になった）を JMMS 方程式に拡張したものである．JMMS 方程式も等モノドロミー変形の方程式であるが，階数と確定特異点の個数の入れ替えに関する双対性がある．この方程式にプランク定数に相当するパラメータ ϵ を導入し，ϵ を 0 に近づける極限において，等スペクトル変形の準周期解の「変調」としての記述を与えた．準周期解のスペクトル曲線の変形を記述するウィッタム変調方程式は多重スケール解析の考え方によって導出される．また，スペクトル曲線に伴う周期写像の逆写像を用いてウィッタム変調方程式の解を構成できる．

29. Gaudin model, KZ equation, and isomonodromic problem on torus, 単著, 1998 年 4 月, Lett. Math. Phys. 44, no. 2, 143–156. （概要）楕円型ゴーダン模型と呼ばれる量子可積分系から出発し，その古典極限として得られる古典可積分系をさらに非自励系に焼き直したものとして，トーラス上の等モノドロミー変形を構成した．また，この等モノドロミー変形の幾何学的解釈を有理接続のモジュライ空間の言葉で与えた．楕円型ゴーダン模型は黒木と武部によって導入された「ひねられた WZW 模型」と関係していて，この共形場理論の共形ブロックに対する楕円型 KZ 方程式から古典極限として同じ等モノドロミー変形の方程式を導くこともできる．

30. Dispersionless hierarchies, Hamilton-Jacobi theory and twistor correspondences, 共著, 1998 年 12 月, J. Geom. Phys. 25, no. 3-4, 326–340. （共著者）Partha Guha, Kanehisa Takasaki （概要）非線形リーマン-ヒルベルト問題による無分散 KP 階層と無分散戸田階層の取り扱いはツイスター的なものだが，ツイスター理論としての重要な要素がいくつか欠けていた．本論文では Gibbons と児玉による無分散階層の解法を手がかりにして,「ツイスター直線」や「ツイスター曲面」の対応物を論じた．また，無分散可積分階層の特殊解とフロベニウス多様体との関係にも触れた．

31. Spectral curves and Whitham equations in isomonodromic problems of Schlesinger type, 単著, 1998 年 12 月, Asian J. Math. 2, no. 4, 1049–1078. （概要）代表的な等モノドロミー変形の方程式として知られるシュレシンガー方程式にプランク定数に相当するパラメータ ϵ を導入し，ϵ を 0 に近づける極限において，等スペクトル変形の準周期解の変調としての記述を与えた．準周期解のスペクトル曲線の変形を記述するウィッタム変調方程式は多重スケール解析の考え方によって導出される．また，スペクトル曲線に伴う周期写像の逆写像を用いてウィッタム変調方程式の解を構成できる．

32. Calogero-Moser models II: symmetries and foldings, 共著, 1999 年 3 月, Progr. Theoret. Phys. 101, no. 3, 487–518. （共著者）A.J. Bordner，R. Sasaki, K. Takasaki （概要）E_8 を含む ADE 型ルート系に基づくカロジェロ-モーザー系の一般化に対して「普遍ラックス表示」を提案した．有理型，三角型，双曲型，楕円型のいずれの

場合も，スペクトルパラメータに依存するラックス表示と異存しないラックス表示が構成できる．また，長さの異なるルートが存在する場合には，長いルートと短いルートのそれぞれに対応するラックス表示が構成できる．さらに，楕円型の場合には，拡大ディンキン図形の対称性とポテンシャルの周期性を組み合わせることによって「ひねられた模型」が得られる．特に,「ひねられた BC 型模型」はこれまでに知られていなかった新しい模型である．

33. Integrable hierarchies and contact terms in u-plane integrals of topologically twisted supersymmetric gauge theories, 単著, 1999 年 5 月, Internat. J. Modern Phys. A14, no. 7, 1001–1013. （概要）$\mathcal{N} = 2$ 超対称ゲージ理論をひねって得られる位相的ゲージ理論の u-平面積分は位相的不変量の「接触項」と呼ばれる量を含んでいる．これらの接触項に対して可積分階層やウィッタム変調方程式の観点からの解釈を提案した．その手がかりは Mariño と Moore が示した u-平面積分の爆裂公式である．そこに可積分階層の τ 函数として解釈できる因子が含まれていることに注目し，τ 函数のモジュラー変換性の考察から，接触項が τ 函数を構成する量の一部（第 2 種微分の周期）にほかならないことを見出した．

34. Calogero-Moser models IV: limits to Toda theory, 共著, 1999 年 10 月, Progr. Theoret. Phys. 102, no. 4, 749–776. （共著者）S.P. Khastgir，R. Sasaki, K. Takasaki（概要）楕円型カロジェロ-モーザー系と戸田格子系の関係をハミルトン表示とラックス表示の両面から考察した．ハミルトン表示においては，力学変数のずらしと結合定数のスケーリングを伴う極限以降によってカロジェロ-モーザー系から戸田格子系が導出できる．他方，ラックス表示においては，ラックスの種類によって，戸田格子系への極限が存在するもの（極小型ラックス対）と存在しないもの（ルート型ラックスの場合）があることがわかった．

35. Elliptic Calogero-Moser systems and isomonodromic deformations, 単著, 1999 年 11 月, J. Math. Phys. 40, no. 11, 5787–5821. （概要）各種の楕円型カロジェロ-モーザー系に対してトーラス上の等モノドロミー系が付随していることを指摘した．それらの等モノドロミー変形は基本的には同じ形のハミルトニアンによって定義される非自励系で，トーラスのモジュラスが時間変数として現れる．さらに，カロジェロ-モーザー系のラックス表示を手がかりにして等モノドロミー変形のラックス表示をつくることもできる．そのようなラックス表示の例をカロジェロ-モーザー系に関する Bordner，佐々木との共同研究から取り上げて論じた．

36. Whitham deformations and tau functions in $N = 2$ supersymmetric gauge theories, 単著, 1999 年 12 月, Progr. Theoret. Phys. Suppl. 135, 53–74. （概要）$\mathcal{N} = 2$ 超対称ゲージ理論とそれをひねった位相的ゲージ理論における可積分系の役割についての当時の研究（出版時期が逆転したが，論文 37 も含む）を包括的にレビューした．おもな項目は以下の通り：(i) ゲージ群が古典群の場合のサイバーグ-ウィッテン曲線のウィッタム変形族の具体的な構成，(ii) 位相的ゲージ理論の u-平面積分の接触項に対する応用，(iii) 位相的ゲージ理論における爆裂公式と τ 函数の関係．

37. Whitham deformations of Seiberg-Witten curves for classical gauge groups, 単著, 2000 年 12 月, Internat. J. Modern Phys. A15, no. 23, 3635–3666. （概要）Gorsky らによる $SU(N)$ ゲージ理論のサイバーグ-ウィッテン曲線のウィッタム変形族の構成法を他の古典群の場合に拡張した．$SU(N)$ の場合と同様に，ここでもローラン多項式の分数べきを利用した．さらに，位相的ゲージ理論の u-平面積分との関係も考察した．

38. Toroidal Lie algebras and Bogoyavlensky's 2+1-dimensional equation, 共著, 2001 年 3 月, Internat. Math. Res. Notices 2001, no. 7, 329–369. （共著者）Takeshi Ikeda, Kanehisa Takasaki （概要）N-KdV 階層の拡張として，N-ボゴヤフレンスキー階層を導入した．ボゴヤフレンスキーによる KdV 方程式の 2+1 次元拡張は $N = 2$ の場合のこの階層の最低次の方程式である．さらに，無限次元リー代数の表現論によるこの可積分階層の特徴付けを与えて，そこから広田型双線形方程式系を導いた．さらに KP 階層にならってラックス形式を定式化し，それを用いて双線形方程式や特殊解などを論じた．

39. Painlevé-Calogero correspondence revisited, 単著, 2001 年 3 月, J. Math. Phys. 42, no. 3, 1443–1473. （概要）VI 型パンルベ方程式のパンルベ-カロジェロ対応と呼ばれるものを他の 5 つのパンルベ方程式に拡張した．VI 型パンルベ方程式には 1 自由度の楕円型イノゼムツェフ系を非自励系にしたものが対応することが知られているが，V 型以下のパンルベ方程式からも三角型・有理型イノゼムツェフ系など同様の方程式が現れることがわかった．さらに，多自由度のイノゼムツェフ系から出発することでパンルベ方程式の多成分化が得られた．

40. Hyperelliptic integrable systems on K3 and rational surfaces, 単著, 2001 年 5 月, Phys. Lett. A283, no. 3–4, 201–208. （概要）楕円型 K3 曲面，射影平面の 2 重被覆をなす K3 曲面，有理楕円曲面などに関係する可積分系を構成した．これは Beauville の一般的なアイディアに基づくものであるが，ここで扱った場合はいずれも超楕円曲線とそのヤコビ多様体で記述されるため，可積分系の構成がかなり簡単になった．ノイマン系などの古典的な可積分系との比較も行った．

41. Anti-self-dual Yang-Mills equations on noncommutative spacetime, 単著, 2001 年 12 月, J. Geom. Phys. 37, no. 4, 291–306. （概要）通常の 4 次元時空において座標の積をいわゆるスター積に置き換えることにより，非可換時空上に反自己双対ヤン-ミルズ方程式の類似が得られる．本論文では通常の反自己双対ヤン-ミルズ方程式の多くの性質がこの非可換類似にも受け継がれていることを示した．特に，ツイスター記述を非可換類似に拡張して，そこから基本的な可積分構造を導出することができた．

42. Quantum Inozemtsev model, quasi-exact solvability and N-fold supersymmetry, 共著, 2001 年 12 月, J. Phys. A: Math. Gen. 34, no. 44, 9533–9554. （共著者）Ryu Sasaki, Kanehisa Takasaki （概要）イノゼムツェフ系はカロジェロ-モーザー系の可積分な変形として提案されたものであるが，量子系としての可解性には不明な点が多い．本論文では，量子イノゼムツェフ系のある種の変形族が「準可解性」と呼

ばれる部分的な可解性をもつことや，それが多重超対称性と等価であることを，多自由度の場合も含めて示した．

43. Hierarchy of (2+1)-dimensional nonlinear Schrödinger equation, self-dual Yang-Mills equation, and toroidal Lie algebras, 共著，2002 年，Ann. Henri Poincaré 3, no. 5, 817–845. （共著者）Saburo Kakei, Takeshi Ikeda, Kanehisa Takasaki （概要）KdV 方程式の 2+1 次元拡張に関する池田岳との共同研究を非線形シュレディンガー方程式に拡張し，特殊解の構成法や無限次元リー代数の表現論との関係を論じた．自己双対ヤン-ミルズ方程式との関係についても触れた．

44. An integrable system on the moduli space of rational functions and its variants, 共著，2003 年 7 月，J. Geom. Phys. 47, no. 1, 1–20. （共著者）Kanehisa Takasaki, Takashi Takebe （概要）リーマン球面・円柱面・トーラス上の有理型函数のモジュライ空間に可積分ハミルトン系の構造を導入した．有理型函数は 2 つの正則函数 $A(\lambda), B(\lambda)$ の商 $B(\lambda)/A(\lambda)$ の形で表されて，$A(\lambda)$ のモジュライが保存量あるいはハミルトニアン，$A(z)$ のグラフがスペクトル曲線の役割を果たす．この可積分系は Sklyanin の変数分離法や超対称ゲージ理論のサイバーグ-ウィッテン解を考えるための「おもちゃ模型」として使える．

45. Spectral curve, Darboux coordinates and Hamiltonian structure of periodic dressing chains, 単著，2003 年，Comm. Math. Phys. 241, no. 1, 111–142. （概要）周期的 dressing chain に対してスペクトル曲線に基づくハミルトン構造を考察した．dressing chain はダルブー鎖とも呼ばれ，ダルブー変換によって結ばれた 1 次元シュレディンガー作用素の無限列からなる．周期的ダルブー鎖はパンルベ方程式や野海-山田系と関係する．2×2 行列による格子型ラックス表示も知られている．周期的な場合には，この 2×2 ラックス表示から遷移行列を作り，Sklyanin の変数分離法にならってダルブー座標を導入し，遷移行列の満たすラックス方程式をハミルトン系に書き直すことができる．このハミルトン系の背後には奇数次元のポアソン構造があり，r 行列を用いて遷移行列の行列要素のポアソン括弧を表すこともできる．

46. Integrable systems whose spectral curve is the graph of a function, 単著，2004 年，CRM Proc. Lecture Notes vol. 37, pp. 211–222. （概要）有限非周期的や戸田格子や相対論的戸田格子などにおいては，ラックス表示のスペクトル曲線がある有理函数 $A(\lambda)$ のグラフ $C = \{(\lambda, z) \mid z = A(\lambda)\}$ になる．このような可積分系は Sklyanin の変数分離法の「おもちゃ模型」とみなせる．これらの可積分系とその一般化（$A(\lambda)$ が楕円函数や一般種数のリーマン面上の有理型函数で与えられる）を紹介した．

47. Tyurin parameters and elliptic analogue of nonlinear Schrödinger hierarchy, 単著，2004 年 4 月，J. Math. Sci. Univ. Tokyo 11, no. 2, 91–131. （概要）Krichever のアイディアに従って非線形シュレディンガー階層の「楕円函数的類似」を構成し，ソリトン方程式に対する無限次元グラスマン多様体からのアプローチにおいてその位置づけを明らかにした．これらの楕円函数的類似は本来の非線形シュレディンガー場 u, v に加えて「チューリンパラメータ」と呼ばれる場の変数をもつ．チューリンパラメータはもともと楕円曲線上の正則ベクトル束のモジュライを与えるものであ

るが，今の場合には補助線形方程式の解を特徴づける線形リーマン-ヒルベルト問題の退化点のデータとして現れる．このようなことを踏まえて，楕円函数類似を無限次元グラスマン多様体の部分多様体の上の力学系に翻訳した．

48. Landau-Lifshitz hierarchy and infinite dimensional Grassmann variety, 単著，2004年2月，Lett. Math. Phys. 67, no. 2, 141–152. （概要）ソリトン方程式に対する無限次元グラスマン多様体からのアプローチにおいてランダウ-リフシッツ階層の位置づけを明らかにした．この可積分階層のラックス表示は楕円函数を成分とする 2×2 行列によって与えられている．これらの行列はトーラス上の特殊な正則ベクトル束と関係している．そのような幾何学的意味を考慮に入れて無限次元グラスマン多様体を定式化し直して，ランダウ-リフシッツ階層を無限次元グラスマン多様体の部分多様体上の力学系に翻訳した．

49. Elliptic spectral parameter and infinite dimensional Grassmann variety, 単著，2005年，“Infinite Dimensional Algebras and Quantum Integrable Systems”, Prog. Math. vol. 237 (Birkhauser, Basel), pp. 175–203. （概要）楕円函数型スペクトルパラメータをもつソリトン方程式に対して無限次元グラスマン多様体を用いる佐藤理論の観点から行った研究を紹介した．前半では，比較対象として通常の非線形シュレディンガー階層を例に選び，その場合の無限次元グラスマン多様体上の力学系への翻訳の仕組を復習した．後半では楕円函数的類似を紹介して，ラックス表示の背後にある正則ベクトル束が重要な役割を演じる，ということを説明した．

50. Five-dimensional supersymmetric Yang-Mills theories and random plane partitions, 共著，2005年3月，JHEP 2005, no. 3, 056 (28 pages). （共著者）Takashi Maeda, Toshio Nakatsu, Kanehisa Takasaki, Takeshi Tamakoshi （概要）ランダム平面分割の観点から5次元の超対称ヤン-ミルズ理論を考察した．ランダム平面分割の分配函数を対角断面の方法によって通常の分割に関する和に書き直してから，同じ「N-コア」（この論文では「基底分割」と呼んでいる）をもつ分割ごとの部分和にまとめた．この部分和が $SU(N)$ をゲージ群としてチャーン-サイモンズ項をもつ5次元超対称ゲージ理論の分配函数として解釈できることを示した．

51. q-analogue of modified KP hierarchy and its quasi-classical limit, 単著，2005年6月，Lett. Math. Phys. 72, no. 3, 165–181. （概要）変形KP階層と戸田階層に対して q-類似を導入し，$q \to 1$ とする準古典極限を考察した．これらの q-類似はもとの可積分階層から独立変数の変数変換によって得られる．τ 函数の双線形方程式から波動函数の双線形方程式を経由して補助線形方程式が得られるが，それらは q-差分方程式になる．この q 差分補助線形方程式をWKB近似してハミルトン-ヤコビ方程式を導出し，さらにそれを無分散型ラックス方程式に書き直した．最後にゲージ理論や位相的弦理論への応用の可能性にも触れた．

52. Free fermion and Seiberg-Witten differential in random plane partitions, 共著，2005年6月，Nucl. Phys. B715, no. 1–2, 275–303. （共著者）Takashi Maeda, Toshio Nakatsu, Kanehisa Takasaki, Takeshi Tamakoshi （概要）5次元超対称ヤン-ミルズ理論のランダム平面分割模型を2次元自由フェルミ場の観点から考察した．

この統計力学的模型の分配函数はフェルミオンフォック空間上の演算子の真空期待値として表せる．この真空期待値にフェルミ場を挿入して得られる波動函数は模型の熱力学的極限において WKB 的漸近形をもつことがわかった．さらに，S^1 にコンパクト化された 5 次元方向の半径を 0 に近づける 4 次元極限を考えて，この漸近形からサイバーグ-ウィッテン曲線などが読み取れることを指摘した．

53. Explicit solutions of the classical Calogero & Sutherland systems for any root system, 共著，2006 年 1 月，J. Math. Phys. 47, no. 1, 012701 (13 pages). （共著者）Ryu Sasaki, Kanehisa Takasaki （概要）ルート系に基づいて一般化された有理型カロジェロ系とサザランド系の古典論が行列の対角化によって解けることを示した．有理型カロジェロ系では調和ポテンシャルがある場合とない場合の両方が扱える．高次のハミルトニアンによる時間発展に関しては古典型ルート系の場合が同様に扱えるが，例外型ルート系の場合には困難が生じることもわかった．

54. Dispersionless Hirota equations of two-component BKP hierarchy, 単著，2006 年 5 月，SIGMA 2, Paper 057, 22 pages. （概要）KP 階層の変種として BKP 階層があり，さらにその 2 成分版もある．この 2 成分 BKP 階層に対して τ 函数のレベルで無分散極限を考察した．τ 函数の双線形方程式からいわゆる無分散広田方程式を導いた．これらの無分散広田方程式はハミルトン-ヤコビ方程式系（そこから無分散型ラックス方程式が導出できる）に書き直せる．このハミルトン-ヤコビ方程式系は補助線形方程式から準古典極限によって得られるものと一致する．

55. Hamiltonian structure of PI hierarchy, 単著，2007 年 3 月，SIGMA 3, paper 042, 32 pages. （概要）$(2, 2g+1)$ 型の弦方程式 $[Q, P] = 1$（$Q = \partial^2 + u$, $\mathrm{ord}P = 2g+1$）は I 型パンルベ方程式の高階化とみなせる（$g = 1$ の場合が本来の I 型パンルベ方程式に相当する）．$g > 1$ の場合には $g-1$ 個の高次時間発展も存在するので，それらをまとめて PI 階層と呼ぶ．この PI 階層のハミルトン構造を等スペクトル変形の階層であるマンフォード系と比較しつつ論じた．これらの系は共通のポアソン構造をもち，共通のダルブー座標によってハミルトン系に書き直せることがわかった．

56. Universal Whitham hierarchy, dispersionless Hirota equations and multi-component KP hierarchy, 共著，2007 年 11 月，Physica D235, no. 1-2, 109–125.（共著者）Kanehisa Takasaki, Takashi Takebe （概要）種数 0 の普遍ウィッタム階層が多成分 KP 階層の無分散極限であることを示した．そのためにまず多成分 KP 階層に「チャージ」を入れて定式化した．このチャージ付き多成分 KP 階層の τ 函数に対する双線形方程式から，多成分版の「微分フェイ等式」を導出した．さらに，これらの微分フェイ等式から無分散極限によって無分散広田方程式を導いて，それらが普遍ウィッタム階層の S 函数に対するハミルトン-ヤコビ方程式と同値であることを示した．

57. Löwner equations, Hirota equations and reductions of universal Whitham hierarchy, 共著，2008 年 11 月，J. Phys. A: Math. Theor. 41, no. 47, 475206 (27 pages). （共著者）Kanehisa Takasaki, Takashi Takebe （概要）種数 0 の普遍ウィッタム階層の有限変数簡約を無分散広田方程式の観点から考察した．1 変数簡約の場合には無分散広田方程式はきわめて強力な道具であり，レブナー型方程式や対角型の流体

力学的階層などの基本的な方程式を演繹的に導出できる．多変数簡約の場合はそれほど単純ではないが，やはり無分散広田方程式を援用して一般的な形で簡約を定式化することができる．これらの結果を示し，その応用として Guil, Mañas, Martínez Alonso による以前の研究を見直した．

58. Melting crystal, quantum torus and Toda hierarchy, 共著，2009 年 1 月，Comm. Math. Phys. 285, no. 2, 445–468. （共著者）Toshio Nakatsu, Kanehisa Takasaki（概要）ランダム平面分割（溶解結晶模型）を無限個の特殊な外部ポテンシャル（離散変数 p に依存する）で変形すれば，変形された分配函数は実質的に 1 次元戸田階層の τ 函数になる，ということを示した．分配函数の自由フェルミオン表示するとき，離散変数 p はフェルミオンのチャージを表し，外部ポテンシャルは量子トーラス代数のフェルミオンによる実現の中のある可換部分代数に由来する．分配函数と τ 函数の対応関係を説明する際にも量子トーラス代数が基本的な役割を演じる．

59. Extended 5d Seiberg-Witten theory and melting crystal, 共著，2009 年 2 月，Nucl. Phys. B808 (2009), no. 3, 411–440 （共著者）Toshio Nakatsu, Yui Noma and Kanehisa Takasaki （概要）外部ポテンシャルによって変形された溶解結晶模型を用いて，$U(1)$ をゲージ群とする $\mathrm{R}^4 \times S^1$ 上の超対称ヤン-ミルズ理論のサイバーグ-ウィッテン幾何学を考察した．前半では，変形された溶解結晶模型の分配函数が超対称ヤン-ミルズ理論に対する場の理論的計算によって導出できることを示した．後半では，溶解結晶模型の熱力学的極限から変形されたサイバーグ-ウィッテン曲線が現れることを示した．ただし，この後半部分は間違っていることが後日判明したので，論文 68 の中で正しい取り扱いを説明した．

60. Integrable structure of melting crystal model with two q-parameters, 単著，2009 年 9 月，J. Geom. Phys. 59, no. 9, 1244–1257. （概要）溶解結晶模型を 2 個の q パラメータに依存するものに拡張して，その可積分構造を明らかにした．実際には 2 種類の可積分構造を考察した．第 1 の可積分構造は “bigrated Toda hierarchy” として知られるもので，分配函数を無限個の外部ポテンシャル（格子座標 s に依存する）によって変形するとともに，q_1, q_2 を特殊化することによって現れる．もう一つの可積分構造は分配函数に入れたもう 1 つのパラメータ Q と s に関する q-差分戸田方程式であり，q_1, q_2 に対する条件なしで成立する，

61. Auxiliary linear problem, difference Fay identities and dispersionless limit of Pfaff-Toda hierarchy, 単著，2009 年 12 月，SIGMA 5, paper 109, 34 pages. （概要）論文 66（出版が遅れて時間的順序が逆になった）の中の DKP 階層についての結果を戸田階層に関する類似物（Pfaff-戸田階層）に拡張した．この可積分階層の補助線形方程式（DKP と違って差分を含む）からフェイ型等式を導出し，それが自然な無分散極限（無分散広田方程式）をもつことを示した．DKP 階層の場合と同様に，無分散広田方程式には楕円曲線が隠れていて，時間発展はこの楕円曲線の変形として理解できる．

62. Integrable structure of melting crystal model with external potentials, 共著，2010 年，“New developments in algebraic geometry, integrable systems and mirror sym-

metry", Adv. Stud. Pure Math. vol. 59, (Math. Soc. Japan, Tokyo), pp. 201–223（共著者）Toshio Nakatsu, Kanehisa Takasaki （概要）溶解結晶模型の可積分構造に関する中津了勇との共同研究をレビューした．特に，対角断面の方法によって平面分割（3 次元ヤング図形）に関する和が分割に関する和に帰着される仕組や，量子トーラス代数の基底の間に成立する「シフト対称性」という代数的関係の導き方と使い方を詳細に解説した．

63. Non-degenerate solutions of universal Whitham hierarchy, 共著，2010 年 8 月，J. Phys. A: Math. Theor. 43, no. 32, 325205 (22 pages). （共著者）Kanehisa Takasaki, Takashi Takebe and Lee Peng Teo （概要）無分散戸田階層の「非退化解」の概念を種数 0 の普遍ウィッタム階層に一般化した．この解は非線形リーマン-ヒルベルト問題によって特徴付けられて，ある意味でこの無分散階層の一般解と考えることができる．このリーマン-ヒルベルト問題は一種の周期写像（等角写像の調和モーメントの概念を拡張したもの）と関係していて，その逆写像を用いて解が得られる．τ 函数（自由エネルギー）もリーマン-ヒルベルト問題の解を用いて周回積分の形で表せる．

64. Two extensions of 1D Toda hierarchy, 単著，2010 年 10 月，J. Phys. A: Math. Theor. 43, no. 43, 434032 (15 pages). （概要）Carlet, Dubrovin, Zhang によって導入された「拡張された戸田階層」を 1 次元戸田階層の 2+1 次元拡張の観点から考察した．Milanov は拡張された戸田階層に対して双線形形式を示したが，それは奇妙な構造をもっている．他方，拡張された戸田階層と 2 + 1 次元拡張はよく似た構造をもち，前者は後者の次元簡約の一種と考えることができる．このことから，Milanov の双線形形式の奇妙な構造の由来を説明することができる．

65. KP and Toda tau functions in Bethe ansatz, 単著，2010 年，"New Trends in Quantum Integrable Systems", (World Sci. Publ., Hackensack, NJ, 2011), pp. 373–392.（概要）量子可積分系と古典可積分系の関係に関する Foda らの研究をレビューした．領域壁境界条件のもとでの 6 頂点模型の分配函数やスピン 1/2 の XXZ スピン鎖のベーテ状態内積は行列式で表せることが知られているが，これらの行列式は KP 階層や戸田階層の τ 函数としても解釈できる．この結果を紹介して，その意味や一般化の可能性を考察した．

66. Differential Fay identities and auxiliary linear problem of integrable hiearchies, 単著，2011 年，"Exploring new structures and natural constructions in mathematical physics", Adv. Stud. Pure Math. vol. 61 (Math. Soc. Japan, Tokyo), pp. 387–441. （概要）さまざまな可積分階層を微分フェイ等式の観点から見直して，微分フェイ等式やその差分版が果たす役割を解説した．これらのフェイ型等式はそれまで無分散広田方程式を導出するための便利な表現形式として使われてきたが，実際には補助線形方程式を母函数的にまとめたものであり，可積分階層自体と同値である，ということを強調した．また，取り上げた可積分階層の中でも DKP 階層については，微分フェイ等式から得られた無分散広田方程式が他の可積分階層の場合とは異なる特徴をもつことを指摘した．

67. Generalized string equations for double Hurwitz numbers, 単著，2012 年 5 月，J. Geom. Phys. 62, no. 5, 1135–1156. （概要）2 重フルビッツ数の母函数は戸田階層の τ 函数になる．戸田階層のこの特殊解に対する弦方程式を考察した．この弦方程式は $c = 1$ 弦理論の弦方程式と似た形をしているが，いわゆる cut-and-join operator をフェルミオン表示したものを $c = 1$ 弦理論のタキオン散乱行列の代わりに用いて導出される．弦方程式の準古典極限も得られて，$c = 1$ 弦理論の弦方程式の場合と同様の方法で解を記述することができる．この解の準古典極限からいわゆるランベルト曲線も現れる．

68. Thermodynamic limit of random partitions and dispersionless Toda hierarchy, 共著，2012 年 1 月，J. Phys. A: Math. Theor. 45, no. 2, 025403 (38 pages). （共著者）Toshio Nakatsu, Kanehisa Takasaki （概要）ゲージ群が $U(1)$ の場合の 4 次元 $\mathrm{N} = 2$ 超対称ヤン-ミルズ理論と 5 次元 $\mathcal{N} = 1$ 超対称ヤン-ミルズ理論のそれぞれに対応する統計力学的なランダム分割模型の熱力学極限を考察した．そのためにランダム行列のレゾルベント函数に相当する函数 $W(z)$ を導入して，$W(z)$ に対する線形リーマン-ヒルベルト問題を導出した．このリーマン-ヒルベルト問題の解はサイバーグ-ウィッテン曲線と解釈すべき複素リーマン面（z 平面の 2 重被覆面）の上の 1 価解析函数として具体的に求められた．さらに，この解が無分散戸田階層の特殊解と対応することもわかった．

69. An $\hbar$-expansion of the Toda hierarchy: a recursive construction of solutions, 共著，2012 年 6 月，Anal. Math. Phys. 2, no. 2, 171–214. （共著者）Kanehisa Takasaki, Takashi Takebe （概要）KP 階層の解の $\hbar$-展開に関する以前の結果を戸田階層に拡張した．戸田階層は 2 つの dressing operator $W, \bar{W}$ をもつ．それらを $W = \exp(X/\hbar)$, $\bar{W} = e^{\phi/\hbar}\exp(\bar{X}/\hbar)$ と表して，差分作用素 $X, \bar{X}$ とスカラー値函数 ϕ に対して $\hbar$-展開を仮定し，展開の各項を定める漸化式を決定した．補助線形問題の解と τ 函数の $\hbar$-展開もそれから導出した．

70. Old and new reductions of dispersionless Toda hierarchy, 単著，2012 年 12 月，SIGMA 8, paper 102, 22 pages. （概要）無分散戸田階層の 2 種類の有限変数簡約を幾何学的な観点から考察した．第 1 の場合は Dubrovin と Zhang がワイル群に付随するフロベニウス構造の例として考察したものの一般化であり，第 2 の場合は無分散 KP 階層の waterbag 模型の戸田階層版と呼ぶべきものである．特に，後者は文献では知られていない新しい簡約の例であると思われる．いずれの場合についても，レブナー型方程式やギボンズ-ツァレフ型方程式など，一般化ホドグラフ法を適用するための道具立てやエゴロフ計量との関係を確かめることができた．さらにフロベニウス構造や平坦座標についても部分的な結果を得た．

71. Modified melting crystal model and Ablowitz-Ladik hierarchy, 単著，2013 年 6 月，J. Phys. A: Math. Theor. 46, no. 24, 245202 (23 pages). （概要）変形溶解結晶模型の可積分構造がアブロビッツ-ラディック階層であることを明らかにした．この統計力学的模型は特殊な 3 次元局所カラビ-ヤウ多様体（特異点解消されたコニフォルド）の上の位相的弦理論と関係している．5 次元超対称ヤン-ミルズ理論に関係する

溶解結晶模型と同様に，この模型の分配函数もフェルミオン表示をもち，戸田階層の τ 函数に書き換えることができる．対応する戸田階層のラックス作用素は特別な形（2 つの 1 階差分作用素の「商」として表せる）をもつことがわかる．そのことからアブロビッツ-ラディック階層との関係が結論される．

III. 学術論文 (B)

1. Singular Cauchy problems for a class of weakly hyperbolic differential operators, 単著，1981 年 11 月, Proc. Japan Acad. Ser. A 57, no. 8, 393–397. （概要）初期面において特性根が一定の次数で重複するような双曲型偏微分作用素に対して複素領域での浜田型特異コーシー問題の解を構成した（結果の速報）.

2. Toda lattice hierarchy I, 共著，1983 年 6 月，Proc. Japan Acad. Ser. A 59, no. 5, 167–170. （共著者）Kimio Ueno, Kanehisa Takasaki （概要）2 次元時空の戸田方程式に対して無限個の高次時間発展からなる戸田階層を構成し，ラックス方程式，補助線形問題，τ 函数，広田方程式などを論じた（結果の速報）.

3. Toda lattice hierarchy II, 共著，1983 年 7 月，Proc. Japan Acad. Ser. A, 59, no. 6, 215–218. （共著者）Kimio Ueno, Kanehisa Takasaki （概要）戸田階層に対して周期的簡約とソリトン解などを論じた（結果の速報）.

4. A class of solutions to the self-dual Yang-Mills equations , 単著, 1983 年 10 月, Proc. Japan Acad. Ser. A 59, no. 7, 308–311. （概要）自己双対ヤン-ミルズ方程式の特殊解の一族に対して有限次元グラスマン多様体による記述を与えた.

5. On the structure of solutions to the self-dual Yang-Mills equations, 単著，1983 年 12 月，Proc. Japan Acad. Ser. A 59, no. 9, 418–421. （概要）自己双対ヤン-ミルズ方程式の一般解（形式的べき級数解）に対して無限次元グラスマン多様体による記述を与えた（結果の速報）.

6. A new approach to the self-dual Yang-Mills equations II, 単著, 1985 年 10 月, Saitama Math. J. 3, 11–40. （概要）行列値ローラン級数に対するリーマン-ヒルベルト問題の代数的な定式化を与えて，自己双対ヤン-ミルズ方程式の解法に応用した.

7. Twistor とは何か, 単著，1985 年 12 月，数理解析研究所講究録 No. 578, pp. 31–87. （概要）ツイスター理論の基礎を平坦時空と曲がった時空の場合に分けて詳細に解説した.

8. Issues of multi-dimensional integrable systems, 単著，1988 年，“Algebraic analysis” (Academic Press, Boston, MA), Vol. II, pp. 853–865, （概要）自己双対ヤン-ミルズ方程式や自己双対計量の方程式などの高次元可積分系について，当時行っていた研究を紹介しつつ，関連する諸問題を論じた.

9. Integrable systems in gauge theory, Kähler geometry and super KP hierarchy — symmetries and algebraic point of view, 単著，1991 年，Proc. International Congress of Mathematicians, Kyoto, 1990 (Math. Soc. Japan, Tokyo), pp. 1205–1214. （概要）高次元可積分系や超 KP 階層などについて，当時までに得られた研究成果を報告し，いくつか新たな結果も紹介した．

10. Analytic expression of Voros coefficients and its application to WKB connection problem, 単著, 1991 年 9 月, “Special functions”, ICM-90 Satellite Conference Proceedings (Springer-Verlag, Tokyo), pp. 294–315. （概要）複素 WKB 法を古典的なリュービル変換の方法とポテンシャル散乱理論の方法の組み合せとして再構築し，漸近解析の新たな流れである Ecalle と Voros の理論へのもう一つのアプローチを提案した．

11. Hidden symmetries of integrable systems in Yang-Mills theory and Kähler geometry, 単著，1991 年，Séminaire sur les Équations aux Dérivées Partielles, 1990–1991 (École Polytech., Palaiseau), Exp. No. VIII, 15 pages. （概要）自己双対ヤン-ミルズ方程式や自己双対計量の方程式とそれらの超ケーラー的一般化における無限小対称性の研究を紹介した．

12. Area-preserving diffeomorphisms and nonlinear integrable systems, 単著, 1992 年 8 月, “Topological and geometrical methods in field theory” (World Sci. Publ., River Edge, NJ), pp. 383–397. （概要）自己双対計量の方程式，無分散 KP 階層，無分散戸田階層に対して行った研究を紹介し，これらが 2 次元面積保存写像の群の言葉で統一的に理解できることを指摘した．

13. Quasi-classical limit of KP hierarchy, W-symmetries and free fermions, 共著，1996 年，Differ. Geom. Gruppy Li i Mekh. 15-2, Zap. Nauchn. Sem. POMI vol. 235, pp. 295–303. English translation: J. Math. Sci. (New York) 94 (1999), no. 4, 1635–1641. （共著者）Kanehisa Takasaki, Takashi Takebe （概要）KP 階層をプランク定数 $\hbar$ に依存する形で再定式化し，$\hbar \to 0$ の準古典極限よって無分散 KP 階層のさまざまな構造（特に W-infinity 対称性）が戸田階層から導出できることを示した．この結果は論文 A17 で発表した結果に引き続いて得られていたが，諸般の事情で出版が遅れた．論文 A23 でもこの結果を紹介している．

14. Integrable hierarchies, dispersionless limit and string equations, 単著，1996 年，“Structures of Solutions of Differential Equations” (World Sci. Publ., River Edge, NJ), pp. 457–481. （概要）戸田階層とその無分散（準古典）極限に関する基本的概念を説明し，その中で 2 次元量子重力や $c = 1$ 弦理論の弦方程式を扱う試みを紹介した．

15. Tyurin parameters of commuting pairs and infinite dimensional Grassmannian manifold, 単著，2005 年 11 月，“Elliptic Integrable Systems”, Rokko Lectures in Mathematics vol. 18 (Kobe University), pp. 289–304. （概要）常微分作用素の可換対と代数幾何学的データ（代数曲線，ベクトル束，その他）を対応させるクリチェ

ベル対応について，代数曲線のベクトル束のチューリンパラメータと無限次元グラスマン多様体を用いる方法を紹介した．大部分はレビューであるが，ここで示した無限次元グラスマン多様体の使い方は他の文献とは異なる．

16. 非線形 Schrödinger 階層と Ablowitz-Ladik 階層の対数的時間発展による拡張，単著，2010 年 3 月，九州大学応用力学研究所研究集会報告 21ME-S7，論文 7. （概要）Carlet, Dubrovin, Zhang が 1 次元戸田階層（非線形シュレディンガー階層のベックルンド変換列と見なせる）に対して導入した対数的時間発展の概念をアブロビッツ-ラディック階層に拡張し，τ 函数に対する双線形方程式を求めた．

17. An h-bar dependent formulation of the Kadomtsev-Petviashvili hierarchy, 共著，2012 年，Theor. Math. Phys. 171, no. 2, 683–690. （共著者）Kanehisa Takasaki, Takashi Takebe （概要）プランク定数 $\hbar$ に依存する KP 階層の解の構成に関する研究の要点を紹介した．解を定める dressing operator を $W = \exp(X/\hbar)$ という形に仮定すれば，X の $\hbar$-展開 $X = X_0 + \hbar X_1 + \hbar^2 X_2 + \cdots$ （X_0 は無分散 KP 階層の解を定めるものとしてあらかじめ与えられている）の係数作用素 $X_1, X_2, \ldots$ は漸化式によって定まると期待される．この漸化式（非常に大がかりなものになる）を決定したのが主な結果である．これから補助線形問題の解や τ 函数の $\hbar$-展開も定まる．

IV. 口頭発表 *

(*) 1990 年以降

1. 複素 WKB 法の解析的裏付けと接続問題，1990 年 7 月 16 日–19 日，京都大学数理解析研究所，研究集会「超局所解析とその応用」依頼講演.（概要）複素 WKB 法を古典的なリュービル変換の方法とポテンシャル散乱理論の方法の組み合せとして再構築し，Voros 係数に相当する量を導入して WKB 解の接続問題を論じた.（講演集）数理解析研究所講究録 No. 750 (1991), pp. 138–165.

2. Integrable systems in gauge theory, Kähler geometry and super KP hierarchy, 1990 年 8 月 21 日–28 日，京都国際会議場，国際数学者会議（ICM90）第 11 分科会 “Partial Differential Equations” 招待講演,（概要）高次元可積分系や超 KP 階層などについて，当時までに得られた研究成果を報告し，いくつか新たな結果も紹介した.（講演集）Proc. International Congress of Mathematicians, Kyoto, 1990 (Math. Soc. Japan, Tokyo, 1991), pp. 1205–1214.

3. Liouville 平面上の散乱問題と複素 WKB 法の厳密な接続公式，1990 年 09 月 26 日–29 日，埼玉大学理学部，日本数学会秋期総合分科会一般講演.（概要）複素 WKB 法を古典的なリュービル変換の方法とポテンシャル散乱理論の方法の組み合せとして再構築し，Voros 係数に相当する量を導入して WKB 解の接続問題を論じた．

4. 複素 WKB 法の厳密な取り扱いと原子衝突過程への応用，1991 年 3 月 18 日–20 日，京都大学数理解析研究所，短期共同研究「複素 WKB 法の理論と物理学への応用」依頼講演.（概要）複素 WKB 法を古典的なリュービル変換の方法とポテンシャル散乱理

論の方法の組み合せとして再構築し，原子衝突過程の方程式を題材に選んで WKB 解の接続問題を論じた.（講演集）数理解析研究所講究録 No. 788 (1992) , pp. 95–118.

5. Liouville 平面上の散乱問題と複素 WKB 法の厳密な接続公式 (II)，1991 年 4 月 1 日–4 日，慶応大学，日本数学会 1991 年度年会一般講演.（概要）1990 年 09 月の秋期総合分科会で紹介した方法を多重転回点が存在する場合や転回点が合流する場合に拡張するためのアイディアを紹介した.

6. Area-preserving diffeomorphisms and nonlinear integrable systems, 1991 年 5 月 26 日–6 月 1 日 Turku, Finland, 研究集会 “Topological and geometrical methods in field theory” 招待講演.（概要）自己双対計量の方程式，無分散 KP 階層，無分散戸田階層に対して行った研究を紹介し，これらが 2 次元面積保存写像の群の言葉で統一的に理解できることを指摘した.（講演集）“Topological and geometrical methods in field theory” (World Sci. Publ., River Edge, NJ, 1992), pp. 383–397.

7. SDiff(2)-戸田方程式の Lax 形式と無限小対称性の構成，1991 年 10 月 10 日–13 日，北海道大学，日本数学会 1991 年度秋期総合分科会一般講演.（概要）戸田場の方程式の連続体極限として得られる 3 次元空間の方程式にツイスター理論の観点を導入して，ラックス表示と無限次元対称性についての結果を紹介した.

8. W-algebra, twistor, and nonlinear integrable systems, 1992 年 3 月 23 日–28 日，京都大学数理解析研究所，研究集会「代数解析学と整数論」依頼講演.（概要）自己双対計量の方程式と KP・戸田階層の無分散極限（準古典極限）を W 代数とツイスター理論の観点から統一的に考察し，自己双対計量の方程式が準古典極限となるような高次元可積分系の可能性を探った.（講演集）数理解析研究所講究録 No. 810 (1992), pp. 65–78.

9. 非線形可積分系と準古典近似，1992 年 7 月 12 日–14 日，東京理科大学基礎工学部，第 31 回実函数論・第 30 回函数解析学合同シンポジウム依頼講演.（概要）プランク定数を取り入れた KP 階層や戸田階層の定式化とその準古典近似の取り扱いや無限小対称性についての結果などを紹介した.（講演集）第 31 回実函数論・第 30 回函数解析学合同シンポジウム講演録集，pp. 149–164.

10. Quasi-classical analysis of nonlinear integrable systems, 1992 年 8 月 24 日–28 日，京都大学数理解析研究所，短期共同研究「Microlocal Geometry」依頼講演.（概要）プランク定数を取り入れたパンルベ方程式や KP 階層・戸田階層の準古典近似について，当時の研究の状況を紹介した.（講演集）数理解析研究所講究録 No. 845 (1993), pp. 123–128.

11. KP hierarchy の準古典近似と $W_{1+\infty}$ 対称性の縮約，1992 年 10 月 6 日–9 日，名古屋大学，日本数学会 1992 年度秋期総合分科会一般講演.（概要）KP 階層の頂点作用素の準古典近似を考えることによって，τ 函数のレベルで KP 階層の $W_{1+\infty}$ 対称性から無分散 KP 階層の $w_{1+\infty}$ 対称性を導出した.

12. 自己双対重力の可積分変形と体積保存写像の群，1992 年 10 月 6 日–9 日名古屋大学，日本数学会 1992 年度秋期総合分科会一般講演.（概要）自己双対計量の方程式の変形

として，スカラー平坦なケーラー計量を記述する方程式（Flaherty の方程式）を取り上げて，3 次元の体積保存写像の群に基づいてツイスター理論的取り扱いができることを指摘した．

13. W-infinity 代数の諸相，1992 年 10 月 19 日–22 日，京都大学数理解析研究所，短期共同研究「非線形可積分系の研究の現状と展望」依頼講演．(概要）W-infinity 代数の概念と KP 階層，無分散 KP 階層，自己双対計量の方程式などの可積分系との関わりについて説明した．流体力学（2 次元理想流体とその差分スキーム）や重力・弦理論（2 次元量子重力，$c \leq 1$ 弦理論，$\mathcal{N} = 2$ 超弦理論）などとの関わりにも簡単に触れた．(講演集）数理解析研究所講究録 No. 822 (1993)，pp. 231–247.

14. W-infinity 代数と非線形可積分系，1992 年 11 月 9 日–11 日，京都大学数理解析研究所，研究集会「場の量子論の基礎的諸問題」依頼講演．(概要）W-infinity 代数の観点から，KP 階層，無分散 KP 階層，自己双対計量の方程式とそのモアイヤル代数的変形や N-成分 KP 階層の large-N 極限などについて論じた．(講演集）京都大学数理解析研究所講究録 No. 869 (1994)，pp. 182–193.

15. Moyal 代数による自己双対重力の可積分変形，1993 年 3 月 26 日–29 日，中央大学理工学部，日本数学会 1993 年度年会一般講演．(概要）Strachan が提案した自己双対計量の方程式のモアイヤル代数的変形に対して，dressing operator の概念を導入した．

16. Moyal 代数に係数をもつ非可換 KP 階層，1993 年 3 月 26 日–29 日，中央大学理工学部，日本数学会 1993 年度年会一般講演．(概要）モアイヤル代数係数の擬微分作用素を用いて KP 階層の非可換拡張が構成できることを説明した．

17. ノイズのある Burgers 方程式とくりこみ群の方法, 1993 年 7 月 28 日–30 日，統計数理研究所，共同研究「確率モデルと非線形可積分系」依頼講演．(概要）動的くりこみ群の方法と加法的ノイズ項をもつ Burgers 方程式への応用を詳しく解説した．数学的定式化における問題点，可積分系との関連の可能性，今後への展望などについても論じた．(講演集）統計数理研究所共同研究リポート No. 48 (1993), pp. 21–42.

18. 高次元可積分ヒエラルヒーの τ 函数，1993 年 9 月 27 日–30 日，大阪府立大学，日本数学会 1993 年度秋期総合分科会一般講演．(概要）トーラス上のモアイヤル代数に係数をもつ擬微分作用素を用いて KP 階層の非可換拡張を導入し，τ 函数の概念を定義した．

19. 高次元可積分ヒエラルヒーの τ 函数，1993 年 10 月 25 日–28 日，京都大学数理解析研究所，短期共同研究「非線型可積分系の研究の現状と展望」依頼講演．(概要）モアイヤル代数に係数をもつ擬微分作用素を用いて KP 階層の非可換拡張を導入し，τ 函数の概念を定義する問題を考察した．トーラス上のモアイヤル代数の場合にはトレースの概念があり，それを利用して τ 函数を定義できることやラックス形式の無限小対称性が τ 函数に持ち上げられることを説明した．(講演集）京都大学数理解析研究所講究録 No. 868 (1994), pp. 1–18.

20. 漸近解析入門：なぜ漸近級数は発散するか？，1993 年 10 月 25 日–28 日，京都大学数理解析研究所，短期共同研究「巾零幾何と解析」依頼講演．(概要）解析的係数を

もつ微分方程式で遭遇する漸近級数の発散やストークス現象の入門的解説．簡単な微分方程式の例を選び，ボレル総和法の観点からこれらの現象を解説した．(講演集) 京都大学数理解析研究所講究録 No. 875 (1994)，pp. 129–145.

21. $N=2$ 超対称 Yang-Mills 理論と Whitham-Toda hierarchy，1996 年 4 月 1 日–4 日，新潟大学，日本数学会 1996 年度年会一般講演．(概要）$SU(N)$ をゲージ群とする 4 次元 $\mathcal{N}=2$ 超対称ヤン-ミルズ理論の低エネルギー有効理論（サイバーグ-ウィッテン理論）の幾何学的構造が N-周期的戸田格子のスペクトル曲線の変形を記述するウィッタム階層の言葉で説明できることを指摘した．

22. Isomonodromic deformations as modulation of isospectral deformations, 1997 年 4 月 1 日–4 日，信州大学，日本数学会 1997 年年度年会一般講演．(概要）等モノドロミー変形の方程式であるシュレジンガー方程式にプランク定数に相当するパラメータ ϵ を導入し，$\epsilon \to 0$ の極限において等モノドロミー変形を等スペクトル変形で近似するときスペクトル曲線などの代数幾何学的データの変化がウィッタム変調方程式を満たすということを説明した．

23. 微分方程式と計算可能性，1997 年 7 月 28 日–30 日、京都大学数理解析研究所，短期共同研究「離散可積分系と離散解析」依頼講演．(概略）古典的な自然数上の計算可能性の概念と違って，実数上の計算可能性の概念にはいくつかの異なる定式化がある．それらをレビューし，微分方程式の計算可能性に関する Pour-El と Richards の研究（計算可能性解析学の立場に立つ）と辻下の研究（超準解析の立場に立つ）を紹介した．(講演集）京都大学数理解析研究所講究録 No. 1020 (1997), pp. 39–62.

24. Construction of isomonodromic problems on torus，1998 年 9 月 30 日–10 月 3 日，大阪大学，日本数学会 1998 年度秋季総合分科会一般講演．(概要）トーラス上の等モノドロミー変形の方程式として，楕円型カロジェロ-ゴーダン系の等モノドロミー変形版と楕円型ゴーダン系の等モノドロミー変形版を紹介した．

25. Whitham deformations of Seiberg-Witten curves for classical gauge groups, 1999 年 1 月 26 日–29 日，京都大学基礎物理学研究所，研究集会 “Gauge Theory and Integrable Models”, 依頼講演．(概要）Gorsky らによる $SU(N)$ ゲージ理論のサイバーグ-ウィッテン曲線のウィッタム変形族の構成法を他の古典群のスペクトル曲線の場合に拡張した．(講演集）“Gauge Theory and Integrable Models”, Internat. J. Modern Phys. A15, no. 23 (2000), 3635–3666.

26. Cubic condition に基づく代数的可積分系の構成例，1999 年 3 月 25 日–28 日，学習院大学．日本数学会 1999 年度年会一般講演．(概要）Donagi と Markmann による代数的可積分系の幾何学的構成法における cubic condition の意味を具体的な例を用いて初等的に説明した．

27. Painleve VI 型方程式再訪，京都大学数理解析研究所 1999 年 6 月 7 日–10 日．短期共同研究「Painleve 系，超幾何系，漸近解析」依頼講演．(概要）Fuchs と Manin によるパンルベ VI 型方程式のカロジェロ型非自励系への変換（パンルベ-カロジェロ対応）について，V 型以下のパンルベ方程式や多自由度系への拡張を論じた．(講演

集）（改題：Calogero-Moser 系から見た Painleve 方程式）京都大学数理解析研究所講究録 No. 1133 (2000), pp. 72–103.

28. 非線形波動の変調と Whitham 方程式，1999 年 7 月 21 日–23 日，京都大学数理解析研究所，短期共同研究「繰り込み群の数理科学での応用」依頼講演.（概要）KdV 方程式をおもな例に選んで，準周期解の変調を記述するウィッタム変調方程式の導出の論理，代数幾何学的定式化，分散性衝撃波などへの応用，繰り込み群との関わり（の有無）などについて解説した.（講演集）数理解析研究所講究録 No. 1134 (2000), pp. 21–36.

29. Elliptic Calogero-Moser systems and isomonodromic deformations, 1999 年 9 月 27 日–30 日，広島大学，日本数学会 1999 年度秋期総合分科会一般講演.（概要）楕円型カロジェロ-モーザー系からトーラス上の等モノドロミー変形が得られることを説明した．モノドロミー問題はカロジェロ-モーザー系の L 行列を係数行列とする 1 階常微分方程式系で与えられる.

30. トーラス上の等モノドロミー変形, 2000 年 3 月 27 日–30 日，早稲田大学理工学部，日本数学会 2000 年度年会特別講演.（概要）トーラス上の常微分方程式の等モノドロミー変形ならびにそれらと可積分系，共形場理論，パンルベ方程式との関係に関する一連の研究の概要を紹介した．当時までに得られていた例をスカラー型，カロジェロ-ゴーダン型，ゴーダン型，カロジェロ-モーザー型の 4 種類に分けて，それぞれの構成や特徴を解説した．スカラー型以外の 3 つの型にはいずれも対応する可積分系（等モノドロミー変形の方程式）があり，そのラックス表示を修正して等モノドロミー変形のラックス表示が構成されている.

31. Hyperelliptic integrable systems on elliptic K3 and rational surfaces, 2000 年 3 月 27 日–30 日，早稲田大学理工学部，日本数学会 2000 年度年会一般講演.（概要）Beauville の可積分系の特殊な例を楕円型 K3 曲面と楕円型有理曲面から具体的に構成した．代数的可積分系としての相空間は超楕円曲線のヤコビ多様体をリュービルトーラスとするものになる.

32. Painleve-Calogero 対応，2000 年 8 月 2 日–4 日，京都大学数理解析研究所，短期共同研究「離散可積分系の研究の進展 — 超離散化・量子化 —」依頼講演.（概要）パンルベ-カロジェロ対応はパンルベ VI 型方程式をカロジェロ型非自励系と対応させるものである．ここでは Fuchs と Manin による VI 型方程式の取り扱いと V 型以下の方程式への拡張について，技術的詳細に立ち入って解説した.（講演集）数理解析研究所講究録 No. 1221 (2001), pp. 180–194.

33. 変数分離法が甦る，2000 年 10 月 6 日–8 日，東京工業大学，日本応用数理学会 2000 年度年会オーガナイズドセッション「力学系の応用数理 — 幾何学と可積分系の視点から —」依頼講演.（概要）19 世紀の変数分離法が現代的な可積分系の視点から見直されていることに鑑みて，Calogero, Morosi, Tondo による変数分離のおもちゃ模型を紹介し，現代的な Sklyanin の変数分離法との関係についても触れた.

34. Painleve-Calogero correspondence，2000 年 10 月 23 日–27 日，京都大学数理解析研究所，短期共同研究「パンルヴェ方程式の解析」依頼講演.（概要）パンルベ-カロジェロ対応はパンルベ VI 型方程式をカロジェロ型非自励系と対応させるものである．ここでは Fuchs と Manin による VI 型方程式の取り扱いと V 型以下の方程式への拡張について，技術的詳細に立ち入って解説した.（講演集）数理解析研究所講究録 No. 1203 (2001), pp. 71-88.

35. 有理スペクトル曲線をもつ可積分系，2001 年 3 月 26 日–29 日，慶応義塾大学日吉キャンパス，日本数学会 2001 年度年会一般講演.（概要）有限自由度可積分系のスペクトル曲線が有理曲線になる場合例として有理型カロジェロ-モーザー系と有理型ライセナールス-シュナイダー系を取り上げて，スペクトル曲線の具体的な形と変数分離座標の構成を示した.

36. Remarks on dressing chains，2001 年 7 月 2 日–4 日，京都大学数理解析研究所，短期共同研究「可積分系研究における双線形化法とその周辺」依頼講演.（概要）周期的 dressing chain に対して，有限帯ポテンシャル・パンルベ方程式・野海-山田系との関係，2 種類のラックス表示の存在，スペクトル曲線の方程式，ダルブー座標の構成とハミルトン系への書き換え等について説明した.（講演集）（改題：dressing chain のスペクトル曲線と Hamilton 構造）dressing chain のスペクトル曲線と Hamilton 構造, 数理解析研究所講究録 No. 1280 (2002), pp. 98–116.

37. 変数分離・代数曲面・Seiberg-Witten 理論から見た有理函数の空間上の可積分系とその拡張，2002 年 3 月 28 日ー 31 日，明治大学駿河台キャンパス，日本数学会 2002 年度年会一般講演.（概要）$B(\lambda)/A(\lambda)$, $A(\lambda) = \lambda^N + (N-2$ 次以下$)$, $B(\lambda) = \lambda^{N-1} + (N-2$ 次以下$)$ という形の有理函数のモジュライ空間に可積分系の構造を導入し，変数分離法，代数的可積分系，サイバーグ-ウィッテン理論の観点から論じた.

38. 弦方程式のスペクトル曲線と Hamilton 構造，2002 年 6 月 3 日–7 日，京都大学数理解析研究所，短期共同研究「微分方程式の変形と漸近解析」依頼講演.（概要）$(2, 2g+1)$ 型の弦方程式 $[Q, P] = 1$（$Q = \partial^2 + u$, $\mathrm{ord}P = 2g+1$）の詳細な構造，可換微分作用素対との比較，2 行列型ラックス表示，スペクトル曲線の方程式，ダルブー座標の導入とハミルトン系への書き換えなどについて詳細に解説した.（講演集）数理解析研究所講究録 No. 1296 (2002), pp. 149–167.

39. Integrable systems whose spectral curve is the graph of a function, 2002 年 9 月 16 日–21 日，CRM, University of Montreal, CRM 研究集会 “Superintegrability in classical and quantum systems”, 参加講演.（概要）変数分離の「おもちゃ模型」として，ラックス表示のスペクトル曲線が函数のグラフとなるような可積分系の例やその一般化を紹介した.（講演集）CRM Proc. Lecture Notes vol. 37, pp. 211–222.

40. 周期的 Darboux 鎖の Poisson 構造，2002 年 11 月 6 日–8 日，九州大学応用力学研究所，研究集会「非線形波動および非線形力学系に関する最近の話題」一般講演.（概要）周期的ダルブー鎖がさまざまな意味で周期的戸田格子に類似する性質や構造をもつことを指摘した.

41. Liouville 平面から見た複素 WKB 法，2002 年 12 月 12 日–14 日，九州大学箱崎キャンパス，研究集会「数学解析の望ましい姿を探って」依頼講演.（概要）Ecalle や Voros の創始した厳密な WKB 法（exact WKB method）へのもう一つのアプローチとして，リュービル変換に基づく方法をレビューした.（講演集）伊藤一男・後藤俊一・宮川鉄朗編『数学解析の望ましい姿を探って』（九州大学出版会，2004 年 3 月）, pp. 69–78.

42. 有理型函数対の空間の上の可積分系，2003 年 3 月 23 日–26 日，東京大学数理科学研究科，日本数学会 2003 年度年会一般講演.（概要）有理函数のモジュライ空間に可積分系の構造を導入すること（前年度の年会で報告した）の一般化として，一般種数の複素代数曲線の上の有理型函数の対 (A, B) のモジュライ空間に可積分系の構造を導入する方法を紹介した.

43. 佐藤理論から見た Landau-Lifshitz 方程式，2003 年 3 月 23 日–26 日，東京大学数理科学研究科，日本数学会 2003 年年会一般講演.（概要）ランダウ-リフシッツ方程式のラックス表示がトーラス上の特殊な正則ベクトル束と関係していることに着目し，そのような幾何学的背景に合わせて無限次元グラスマン多様体を定式化し直した.

44. Landau-Lifshitz equation, elliptic AKNS hierarchy, and Sato Grassmannian, 2003 年 6 月 21 日–25 日，University of Algarve, Faro, Portugal, 研究集会 “Infinite Dimensional Algebras and Quantum Integrable Systems” 依頼講演.（概要）楕円函数型スペクトルパラメータをもつソリトン方程式に対して，佐藤理論の観点から当時行っていた研究を紹介した.（講演集）（改題：Elliptic spectral parameter and infinite dimensional Grassmann variety）“Infinite Dimensional Algebras and Quantum Integrable Systems”, Prog. Math. vol. 237 (Birkhauser, Basel, 2005), pp. 175–203.

45. Tyurin パラメータと佐藤理論，2003 年 9 月 24 日–27 日，千葉大学，日本数学会 2003 年度秋季総合分科会一般講演.（概要）Krichever のアイディアに従って非線形シュレディンガー階層の「楕円函数的類似」を構成し，ソリトン方程式に対する佐藤理論の観点から考察した．無限次元グラスマン多様体上の力学系への翻訳の際にも，ラックス表示とトーラス上の正則ベクトル束との関係が鍵となることを指摘した.

46. 弦方程式の時間発展の Hamilton 構造，2003 年 10 月 6 日–10 日，京都大学数理解析研究所，短期共同研究「複素領域における微分方程式の大域解析と漸近解析」依頼講演.（概要）$(2, 2g+1)$ 型の弦方程式は $g > 1$ の場合に $g-1$ 個の高次時間発展をもつ．その詳細な構造，2 行列型ラックス表示，ダルブー座標の導入とハミルトン系への書き換えなどについて詳細に解説した.（講演集）数理解析研究所講究録 No. 1367 (2004), 189-203.

47. 変形 KP 階層の q 類似とその準古典極限, 2005 年 3 月 27 日–30 日，日本大学理工学部，日本数学会 2005 年度年会一般講演.（概要）変形 KP 階層の q 類似を導入し，補助線形方程式や零曲率方程式（いずれも q 差分方程式になる）を導出した．さらに $q \to 1$ とする準古典極限を考えて，補助線形方程式の WKB 近似からハミルトン-ヤコビ方程式を導出した.

48. Dispersionless integrable hierarchies revisited, 2005年9月20日–25日，SISSA, Trieste, MISGRAM 研究集会 “Riemann-Hilbert problems, integrability and asymptotics” 参加講演.（概要）KP 階層や戸田階層の準古典極限によって無分散 KP 階層や無分散戸田階層を導出する手順を復習し，準古典極限の処方の q 差分可積分系（変形 KP 階層や戸田階層の q 差分版）や多成分 KP 階層への拡張を紹介した．特に，チャージ変数を入れた多成分 KP 階層の準古典曲源として種数 0 の普遍ウィッタム階層が得られることを示した．
（講演集） http://misgam.sissa.it/RHPIA05/?page=programme

49. Toy models of separation of variables, 2005年10月7日，京都大学基礎物理学研究所，京都大学/ミュンヘン工科大学学術交流行事「幾何学・解析学・数理物理学の最先端」依頼講演.（概要）可積分系の変数分離の概念を復習し,「おもちゃ模型」として Calogero, Morosi, Tondo の例やそのさまざまな拡張・変種を紹介した．
（講演集）http://www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/contents/seminar/archive/2005/yitp-x-05-02/

50. Toy models of separation of variables, 2006年3月6日–9日，数理解析研究所，研究集会「超函数と線型微分方程式 2006 数学史とアルゴリズム」依頼講演.（概要）可積分系の変数分離の概念を復習し,「おもちゃ模型」として Calogero, Morosi, Tondo の例やそのさまざまな拡張・変種を紹介した.（講演集）(改題：変数分離の簡単な模型）数理解析研究所講究録 No. 1648 (2007), 68–87.

51. 結合型 BKP 階層の無分散極限，2006年3月26日–29日，中央大学理工学部，日本数学会 2006 年年会一般講演.（概要）2 成分 BKP 階層（ここでは「結合型 BKP 階層」と呼んでいる）に対してプランク定数を導入し，補助線形方程式の WKB 近似からハミルトン・ヤコビ方程式を導出した．

52. ダイマー模型とその周辺，2006年8月21日–23日，京都大学数理解析研究所，研究集会「可積分系数理の眺望: Prospects of theories of integrable systems」依頼講演.（概要）ダイマー模型の概念と Kasteleyn による分配函数の線形代数的表示を平面 2 部グラフ上のダイマー模型の場合に詳細に解説した．トーラス上のダイマー模型やその熱力学極限において現れるアメーバやロンキン函数の概念についても触れた.（講演集）数理解析研究所講究録 No. 1541 (2007), 23–46.

53. Dispersionless Hirota equations of multi-component integrable hierarchies, 2006年9月7日–11日，Madrid, MISGRAM 研究集会 “Integrable Systems in Applied Mathematics” 招待講演.（概要）多成分 KP 階層とその準古典極限である種数 0 の普遍ウィッタム階層に対して，微分フェイ等式と無分散広田方程式がそれぞれ補助線形方程式とそのハミルトン-ヤコビ方程式に同値であることを指摘した．さらに，同様の関係が 2 成分 BKP 階層と DKP 階層についても成立することを注意した．
（講演集） http://pendientedemigracion.ucm.es/info/isiam/participants.htm

54. Fay-type identities and dispersionless limit of integrable hierarchies, 2007年3月5日–8日，名古屋大学多元数理研究科，研究集会 “Exploration of New Structures

and Natural Construction in Mathematical Physics” 依頼講演.（概要）さまざまな可積分階層を微分フェイ等式の観点から見直して，微分フェイ等式やその差分版が果たす役割を解説した.（講演集）（改題：Differential Fay identities and auxiliary linear problem of integrable hiearchies）“Exploring new structures and natural constructions in mathematical physics”, Adv. Stud. Pure Math. vol. 61 (Math. Soc. Japan, Tokyo, 2011), pp. 387–441.

55. Integrable structure in melting crystal model of 5D gauge theory, 2008 年 1 月 7 日–11 日，京都大学数理解析研究所，研究集会 “New developments in Algebraic Geometry, Integrable Systems and Mirror symmetry” 依頼講演.（概要）溶解結晶模型の可積分構造に関する中津了勇との共同研究をレビューした.（講演集）“New developments in algebraic geometry, integrable systems and mirror symmetry”, Adv. Stud. Pure Math. vol. 59, (Math. Soc. Japan, Tokyo, 2010), pp. 201–223

56. Dispersionless Hirota equations and reduction of universal Wthitham hierarchy, 2008 年 8 月 18 日–22 日，CRM, University of Montreal, CRM 研究集会 “Laplacian Growth and Related Topics” 招待講演.（概要）種数 0 の普遍ウィッタム階層の有限変数簡約を無分散広田方程式の観点から考察した.（講演集）（改題：Löwner equations, Hirota equations and reductions of universal Whitham hierarchy）J. Phys. A: Math. Theor. 47 (2008), 475206 (27 pages).

57. ２個の q-パラメータをもつランダム平面分割の可積分構造，2009 年 3 月 26 日-29 日，東京大学数理科学研究科，日本数学会 2009 年度年会一般講演.（概要）溶解結晶模型を 2 個の q-パラメータに依存するものに拡張して，2 種類の可積分構造の存在を指摘した.

58. Pfaff-Toda 階層の差分 Fay 等式，2009 年 3 月 26 日-29 日，東京大学数理科学研究科，日本数学会 2009 年年会一般講演.（概要）KP 階層の変種である DKP 階層の微分フェイ等式についての結果を戸田階層に関する類似物（Pfaff-戸田階層）に拡張した.

59. KP and Toda tau functions in Bethe ansatz: a review, 2009 年 7 月 27 日–31 日，京都大学数理解析研究所・理学部数学科，研究集会 “Infinite Analysis 09 — New trends in quantum integrable systems” 依頼講演.（概要）量子可積分系と古典可積分系の関係に関する Foda らの研究をレビューした.（講演集）“New Trends in Quantum Integrable Systems”, (World Sci. Publ., Hackensack, NJ, 2011), pp. 373–392.

60. 対数的時間発展による非線形 Schrödinger 階層と Ablowitz-Ladik 階層の拡張，2009 年 9 月 24 日–27 日，大阪大学豊中キャンパス，日本数学会 2009 年秋季総合分科会一般講演.（概要）Carlet, Dubrovin, Zhang が 1 次元戸田階層（非線形シュレディンガー階層のベックルンド変換列と見なせる）に対して導入した対数的時間発展の概念をアブロビッツ-ラディック階層に拡張し，τ 函数に対する双線形方程式を示した.

61. 対数的時間発展による非線形 Schödinger 階層と Ablowitz-Ladik 階層の拡張，2009 年 11 月 19 日–21 日，九州大学応用力学研究所，研究集会「非線形波動の現状と将来」一般講演.（概要）Carlet, Dubrovin, Zhang が 1 次元戸田階層（非線形シュレ

ディンガー階層のベックルンド変換列と見なせる）に対して導入した対数的時間発展の概念をアブロビッツ-ラディック階層に拡張し，τ 函数に対する双線形方程式を示した.（講演集）九州大学応用力学研究所研究集会報告 21ME-S7 (2010 年 3 月)，論文 7.

62. 溶解結晶模型の可積分構造，2010 年 3 月 24 日–27 日，慶應義塾大学矢上キャンパス，日本数学会 2010 年年会特別講演.（概要）溶解結晶模型の概念とその可積分構造に関して行ってきた数年間の研究をレビューした.

63. Toda tau function with quantum torus symmetries, 2010 年 6 月 17 日–19 日，Czech Technical University, Prague, 19th International Colloquium on Integrable Systems and Quantum Symmetries 参加講演.（概要）溶解結晶模型，位相的頂点の母函数，2 重フルビッツ数の母函数などを戸田階層の τ 函数とみなすとき，量子トーラス代数に関連する対称性が重要な役割を果たす，ということを説明した.（講演集）Toda tau functions with quantum torus symmetries, Acta Polytechnica 51 (2011), No. 1, 74-76.

64. フルヴィッツ数に関連する戸田階層の特殊解とその古典極限，2010 年 9 月 22 日–25 日，名古屋大学，日本数学会 2010 年秋季総合分科会一般講演.（概要）2 重フルビッツ数の母函数を戸田階層の τ 函数とみなすときラックス形式においては一般化弦方程式が成立し，その準古典極限からランベルト曲線も現れる，ということを報告した.

65. Combinatorial properties of toric topological string partition functions, 2012 年 8 月 6 日–10 日，国際高等研究所，数理解析研究合宿型セミナー「ヤング図形・統計物理に関連する代数的組合せ論」依頼講演.（概要）位相的頂点の方法で得られる一般化コニフォルド上の位相的弦理論の振幅函数について，シューア函数，フェルミオン，頂点作用素による表示を解説し，その母函数が KP 階層の τ 函数として解釈できることや，それに付随する「波動函数」が線形 q-差分方程式を満たすことを指摘した.
（講演集） http://www.uec.tottori-u.ac.jp/~mi/workshop/program.html

66. Integrable structure of modified melting crystal model, 2012 年 8 月 20 日–24 日，ETH Zurich, 国際会議 “Integrability in Gauge and String Theory” ポスター発表.（概要）変形溶解結晶模型の分配函数が戸田階層の τ 函数とみなせることを説明し，さらにアブロビッツ-ラディック階層と関係する可能性を論じた.
（講演集）http://int12.itp.phys.ethz.ch/Schedule.html

67. 溶解結晶模型と Ablowitz-Ladik 階層，2013 年 3 月 22 日，京都大学吉田南キャンパス，日本数学会 2013 年度年会一般講演.（概要）変形溶解結晶模型の分配函数が戸田階層の τ 函数であり，さらにアブロビッツ-ラディック階層の解に対応することを指摘した.

68. Modified melting crystal model and Ablowitz-Ladik hierarchy, 2013 年 6 月 23 日–28 日，Gallipoli, Italy, 国際会議 “Physics and Mathematic of Nonlinear Phenomena” 招待講演.（概要）変形溶解結晶模型を解説し，分配函数が戸田階層の τ 函数であり，

さらにアブロビッツ-ラディック階層の解に対応する，という研究結果を紹介した．（会議情報）http://pmnp2013.dmf.unisalento.it/index.shtml

V. 論説

1. 数理物理， 数学セミナー 1990 年 7 月号 pp. 60–63. （概要）リレー連載「現代数学の未来 ICM-90 を前に」 の第 8 回として，数理物理の研究の話題と展望を紹介した．
2. 漸近展開 — 収束半径 0 の解析学， 数理科学 1993 年 4 月, pp. 15–19. （概要）簡単な微分方程式の例を用いて，ボレル総和法の観点から漸近解析の考え方を紹介した．
3. Seiberg-Witten 理論と可積分系，数理科学 1997 年 3 月号，pp. 48–53. （概要）サイバーグ・ウィッテン理論と可積分系のウィッタム変調理論の関係について紹介した．
4. 可積分系とその応用を巡って, 数理科学 1999 年 12 月号, pp. 49–55. （概要）リレー連載「数学の未解決問題」の第 5 回として，可積分系研究の現状と展望を論じた．
5. 量子可積分系, 数理科学 2001 年 12 月，pp. 26–32 （概要）カロジェロ・モーザー系とその変種を題材にして，古典可積分系と量子可積分系の関係，準可解性の概念などを紹介した．
6. 可積分系，数学セミナー 2002 年 3 月号，pp. 25-29. （概要）特集「数理物理この 10 年」の記事として，可積分系の概念の起源，現代的な見方，研究の現状と展望を紹介した．
7. ツイスターがもたらしたもの，数理科学 2006 年 10 月号, pp. 5–10. （概要）ツイスターの概念の起源，研究の発展と転機，その後の発展と現状を紹介した．
8. ツイスター理論の副読本，数理科学 2006 年 10 月号, pp. 32–33. （概要）ツイスター理論を学ぶにあたって役に立つと思われる 3 冊の本を紹介した．
9. ダイマー模型と幾何学 —ケニオンとオクニコフ—，数理科学 2008 年 12 月号, pp. 26–32. （概要）ダイマー模型の概念，カステレインの方法，ケニオンとオクニコフの研究の要点を紹介した．
10. 無質量自由場の方程式と対称性 —スピナーとツイスター—，数理科学 2009 年 3 月号, pp. 38–44. （概要）無質量自由場の方程式のスピナー形式，共形対称性，ならびにツイスター理論に基づく解の積分表示を紹介した．
11. 線形代数と数え上げ，数学セミナー 2010 年 4 月号–2011 年 6 月号（15 回連載）.（概要）前半では非交差経路の数え上げ公式（LGV 公式）とそのシューア函数や 3 次元ヤング図形の数え上げへの応用を紹介した．後半ではダイマー模型の線形代数的取り扱いを紹介し，全域木数え上げ問題についても触れた．
12. 電磁気学と代数解析， 数理科学 2012 年 5 月号，pp. 44–49.（概要）電磁気学におけるヘヴィサイドの業績を紹介し，演算子法と超函数論の関係も解説した．

13. 記号論理の手習い，数学セミナー 2012 年 10 月号–2013 年 12 月号（15 回連載）.（概要）京都大学における数理論理学の講義を加筆再構成した.