

博士論文概要

【課程博士一覧】

中村 俊一	「Control of Step Structures on Silicon Carbide Surfaces in Epitaxial Growth toward Electronic Devices」 (電子デバイス応用へ向けたシリコンカーバイドのエピタキシャル成長における表面ステップ構造制御)	平成14年11月25日
野田 啓	「強誘電性低分子蒸着薄膜の構造制御及びその電気的特性とデバイス応用性に関する研究」	平成14年11月25日
Jean Xiang-Qun Yu	「Utilization of Inherent Diversity for Channel Coding and Equalization Algorithms」 (通信路符号化と等化アルゴリズムへの自然ダイバーシチの利用)	平成15年1月23日
美船 健	「電磁界解析における代数マルチグリッド法とその応用」	平成15年3月24日
福間 剛士	「Applications of Dynamic Force Microscopy to Molecular-Scale Investigations on Organic Ultrathin Films」	平成15年3月24日
金田 昭男	「顕微分光法を用いたInGaN系量子井戸構造の光物性に関する研究」	平成15年3月24日
岡田 健一	「集積回路における性能ばらつき解析に関する研究」	平成15年3月24日
後藤 由貴	「Stochastic approaches to inverse problems in plasma wave analysis」 (プラズマ波動の逆問題に対する確率的アプローチ)	平成15年3月24日
今村 裕之	「ステントグラフト留置術支援のための術前・術中画像処理手法」	平成15年3月24日
原口 亮	「核医学心筋画像と冠動脈造影との自動重ねあわせと表示」	平成15年3月24日
山岸 統	「Linear Analyses of Ideal and Kinetic Pressure-Driven Instabilities in Helical Plasmas」 (ヘリカルプラズマにおける理想および運動論的圧力駆動型不安定性の線形解析)	平成15年3月24日

- 磯田 総子 「A Study of Wind Oscillations in the Mesosphere and Lower Thermosphere at Low Latitudes Observed with MF and Meteor Radars」 平成15年3月24日
(MFレーダーと流星レーダーによって観測された低緯度中間圏下部熱圏における風速振動に関する研究)
- 濱田 純一 「A Climatological Study on Rainfall Variations over the Indonesian Maritime Continent」 平成15年3月24日
(インドネシア海洋大陸における降水変動の気候学的研究)
- 川村 誠治 「A study of wind variations and their effects on the mid latitude ionosphere and thermosphere based on the MU radar observations」 平成15年3月24日
(MUレーダー観測に基づく中緯度電離圏・熱圏における風の変動とその影響に関する研究)
- Hassenpflug, Gernot 「Study of turbulence structures in the lower atmosphere using spaced antenna techniques with the MU radar」 平成15年5月23日
(MUレーダー空間干渉計法による下層大気圏の乱流構造の観測)
- 鈴木 康浩 「Free-Boundary MHD Equilibria of Non-Axisymmetric Torus Plasmas」 平成15年7月23日
(非軸対称トーラスプラズマの自由境界MHD平衡)
- 宮崎 崇 「分子デバイス構築に向けた SPM による微細構造の作製と電気特性評価」 平成15年9月24日

中 村 俊 一 (松波教授)

「Control of Step Structures on Silicon Carbide Surfaces in Epitaxial Growth toward Electronic Devices」

(電子デバイス応用へ向けたシリコンカーバイドのエピタキシャル成長における表面ステップ構造制御)

平成14年11月25日授与

資源の枯渇や地球温暖化の問題を考えると、電気エネルギーの効率的利用は、今後ますます重要な課題となる。半導体電子デバイス（パワーデバイス）を用いて電気エネルギーを制御するパワーエレクトロニクスに期待が集まっている。本研究で取り上げたワイドギャップ半導体シリコンカーバイド（SiC）は、優れた物性を有するので、次世代パワーデバイス用材料の最有力候補に挙げられている。これまで、SiCパワーデバイス作製に不可欠なエピタキシャル成長は、現象に対する深い理解が得られないまま、技術開発がすすめられてきた。そこで本研究では、横型コールドウォールCVDと呼ばれる比較的単純な結晶成長系において、SiCのエピタキシャル成長における諸現象に対する理解を深め、そこにおける基本指針を確立することを通じて、SiC電子デバイスの展開に資することを目的とした。主要な成果は以下の通りである。

1. 高耐圧デバイス作製には高純度厚膜成長層が必要であるが、高速成長を行うと表面モフォロジーが著しく悪化するとされていた。これに対し、初期成長条件の改良により、常圧成長で従来の約2倍の6~7 $\mu\text{m}/\text{h}$ 程度の高速成長でも良好な表面モフォロジーを得た。成長速度は原料ガスであるSiH₄の重合により制限されることが分かったが、成長圧力を80Torrまで下げることで、重合が抑えられ、12 $\mu\text{m}/\text{h}$ という高速成長を実現した。成長速度の成長圧力依存性から、SiCのホモエピタキシャル成長における律速過程は、ステップ端でのSi種と吸着水素の競合にあることが示唆された。この競合と気相中でのSiH₄の重合を考慮したモデルにより、成長速度を半定量的に説明することに成功した。
2. 工業的に事実上唯一入手可能な6H-および4H-SiC（0001）面上へのCVD成長では、結晶構造上、3C-SiCと呼ばれる異なる構造の結晶が混入しやすく、これを回避するために（0001）面から数度のオフを導入することが常識となっていた（ステップ制御エピタキシー）。これに対し、基板が適切に研磨され、表面ダメージが少ない場合には、成長前のHCl/H₂ガスエッチングによりSiC表面に原子レベルで均一なステップ構造が形成されること、ならびに、こうして均一なステップ構造が形成された基板上に初期成長プロセスを適切に制御して成長することで、6H-SiC（0001）0.2度オフ面（ほぼオフなし）においても、デバイス作製に応用可能なかなり広い成長条件においてステップフロー成長が支配的となり、ホモエピタキシャル成長が可能であることを見出した。
3. 絶縁破壊電界は、パワーデバイスの性能を決定する重要な物性定数である。種々の面方位を持つ4H-SiC基板上へのホモエピタキシャル成長において、n、p型不純物添加を行い、エピタキシャルpn接合ダイオードを作製した。その絶縁破壊特性から絶縁破壊電界の異方性を求め、a軸方向の絶縁破壊電界はこれに垂直なc軸方向の絶縁破壊電界の約75%であることを見出した。
4. エピタキシャル成長中の不純物添加をさらに詳細に制御することで、1層あたりの厚さが0.2 μm という薄いpn多重接合の作製に成功した。これを用いたSiC横型超接合ダイオードを世界で初めて試作し、超接合としての動作を確認した。

以上のように、本研究を通じてSiCホモエピタキシャル成長における諸現象が明らかになり、デバイス作製へ向けた要求事項に応える基本指針を確立できた。

野田 啓 (松重教授)

「強誘電性低分子蒸着薄膜の構造制御及びその電気的特性とデバイス応用性に関する研究」
平成14年11月25日授与

有機強誘電体材料の代表格であるフッ化ビニリデン (VDF) 系材料では、単一分子鎖内に存在する永久電気双極子が印加電界の極性に依って180度回転することにより、分極反転 (すなわち強誘電性) を発現する。このVDF系材料では試料の作成条件の違いにより、多彩な構造及び電気的特性を示すことから、学術的な観点から様々な研究が展開されてきた。また、この材料が有する強誘電性を利用した不揮発性メモリ、圧電性を利用した超音波トランスデューサ、焦電性を利用した赤外線センサ、といった様々な応用例が提案されると共に、有機材料ならではの加工性の良さや製造コストの安さ等の特徴も相まって、産業面からも大きな注目を集めてきた。しかしながら、VDF系材料の中心を担うポリフッ化ビニリデン (PVDF) は高分子材料であり、薄膜化した際に結晶部と非晶部が混在した構造を示すため、結晶部に由来する薄膜の強誘電性機能の向上及び諸物性の解明に大きな困難が生じていた。そこで本研究では、分子鎖長が短くかつ一定であり、結晶化しやすいオリゴマー体に着目し、新規に合成されたフッ化ビニリデンオリゴマー (VDFオリゴマー、化学式 $\text{CF}_3(\text{CH}_2\text{CF}_2)_n$) の蒸着薄膜の作製及び多面的な構造・電気的特性評価を行った。その結果を基に、未解明であったVDFオリゴマーの諸物性や将来の電子デバイス応用への有用性について議論した。

本研究で得られた成果を以下に記す。まず、VDFオリゴマー分子は通常、常誘電相に結晶化しやすいため、蒸着条件の制御による強誘電相結晶の形成が必要とされていた。本研究ではKBrやKClのアルカリハライド基板上に成膜を行うことで、エピタキシャル成長を伴ったVDFオリゴマーの強誘電相結晶の作製が可能であることを、エネルギー分散型斜入射X線回折計 (ED-GIXD) やフーリエ変換赤外分光法 (FT-IR) による薄膜構造解析により明らかにした。

引き続き、上記の手法によりKBr基板上に作製したVDFオリゴマー薄膜を金属基板上に転写する手法を独自に開発し、金 (Au) 電極上に移した薄膜において原子間力顕微鏡 (AFM) を援用したナノスケール電気特性評価を行った。その結果、VDFオリゴマー分子鎖が有する永久電気双極子の回転及び配列に伴う分極ドメインの形成や圧電応答信号のヒステリシス現象を確認し、VDFオリゴマーの強誘電性を初めて証明した。更に、AFM探針へのパルス電圧印加により、局所的な分極ドメインの極性及びサイズ制御が可能であり、再書き込み可能な不揮発性メモリとして動作することを示した。

続いて、液体窒素により -120°C 以下まで低温化した基板上にVDFオリゴマー蒸着膜を堆積させることで、強誘電相結晶から成る薄膜を基板の種類に依存することなく形成できることを見出した。その性質を利用して、金属薄膜上に作製したVDFオリゴマー蒸着膜 (膜厚500nm) の電気的特性を測定した結果、図1に示した矩形形状のD-Eヒステリシスカーブや急峻なピークを有する分極スイッチング電流が観測され、マクロな電気的特性からもVDFオリゴマーの強誘電性を実証するに至った。特にその試料において、従来の強誘電ポリマーを上回る残留分極量や焦電係数が測定され、強誘電体材料としてのVDFオリゴマーの優れた特性が明らかになったと同時に、近い将来実現可能な強誘電体薄膜デバイス (不揮発性メモリ、赤外線センサ) への応用性が示された。

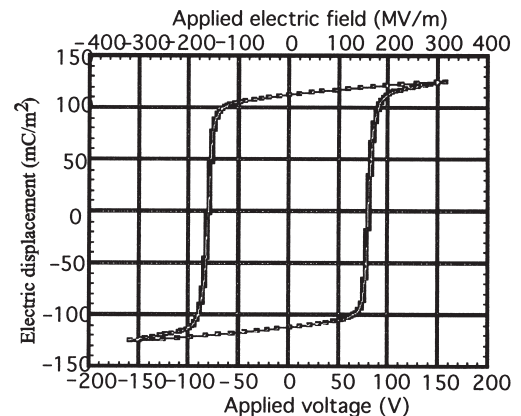


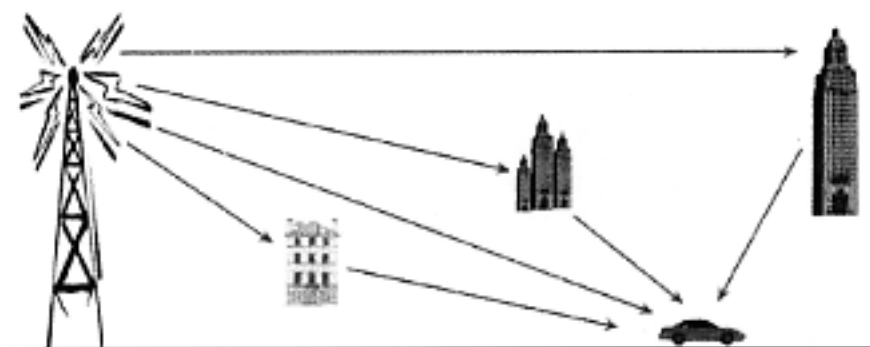
図1 VDFオリゴマー膜のD-Eヒステリシスカーブ

Jean Xiang-Qun Yu (吉田教授)

「Utilization of Inherent Diversity for Channel Coding and Equalization Algorithms」
(通信路符号化と等化アルゴリズムへの自然ダイバーシチの利用)

平成15年1月23日授与

移動通信路は無線を用いているために、市街地やビル内の電波伝搬環境は極めて劣悪であり、通路差の大きな多重経路伝搬に伴うフェージングや予期しないさまざまなタイプの電波干渉により通信品質が著しく劣化する。そこで、通信品質を保証するためのダイバーシチ、符号化と等化等の信号処理技術に関する研究を行う。



従来のダイバーシチ技術には、代表的なものとして時間ダイバーシチ、受信アンテナダイバーシチと周波数ダイバーシチがある。これらの技術の基本は、複数の時間スロット、アンテナ、周波数等の資源を人為的に作り、同一送信信号において複数の受信信号を合成することにより、通信品質の向上を実現している。本研究では従来のダイバーシチと違う自然ダイバーシチの概念を開発し利用することにより、複数の資源を使わず、従来の符号化と等化技術の効果の改善に関する研究成果をまとめたものである。自然ダイバーシチは本来システムに埋めこまれたダイバーシチであり、適当な信号処理アルゴリズムを設計することにより受信信号からダイバーシチ要素を引き出す方法である。

また、各自然ダイバーシチ要素はお互いに協同的な特性と補償的な特性を持つ。本研究では特にARQ（自動再送要求）を用いた場合の符号化と長遅延波が存在する伝搬路に対する等化アルゴリズムの特性向上について、理論検討と計算機シミュレーションを用いた評価検討を行っている。

本研究の結果、符号化の場合、相補符号を設計することにより、計算量が増えず再送信システムの効率と誤り率の改善を実現できた。また、伝搬路等化の場合、分裂性軟判定等化を提案することにより、長遅延波が存在する伝搬路における計算量の低い最適な等化が可能となった。さらに、繰り返し復号化と提案等化器を協同設計することにより、協同設計の優位性を明確した。最後に提案等化器の原理に基づく分裂性軟判断復号を設計することを通じて、従来手法に比べてより少ない計算量で長い拘束長をもつ畳み込み符号の復号が可能であることを明らかにした。

美 船 健 (島崎教授)

「電磁界解析における代数マルチグリッド法とその応用」

平成15年3月24日授与

近年では、CAD類の発達を受けて電気機器の設計・開発分野において数値シミュレーションが重要な位置を占めるようになり、高精度解析に必要とされる計算コストの軽減に対する要求は大きい。本論文は、数値電磁界解析分野においてしばしば現れる大規模連立一次方程式に対する有力な線形解法の開発を目指したものである。線形解法として代数的マルチグリッド法をとりあげ、数値電磁界解析におけるその実用性を高めることを目的としている。得られた主な成果は以下の通りである。

1. 代数的マルチグリッド法と大規模科学技術計算分野で主流となりつつある並列処理との連繋による高速ソルバの開発が行われた。渦電流解析及び静磁界解析で現れる連立一次方程式を扱い、それぞれの場合に適合した並列化手法を提案している。分散メモリ型並列計算機SR2201上で行った数値解析により、ブロック並列不完全LU分解前処理付き共役勾配法を適用した場合と比較し、開発された並列代数マルチグリッドソルバの高速性と良好な並列化効率とが示された。
2. M行列を対象とした代数的マルチグリッド解法の適用対象を、対角成分が正であるH行列へと拡張する手法が提案された。対角成分が正であるN次H行列を係数行列とする連立一次方程式の求解が、2N次M行列を係数行列とする連立一次方程式の求解に帰着されることが証明され、さらに、2N次M行列に対する代数マルチグリッドアルゴリズムの記憶容量と計算量を節約する手法が提案されている。これにより、実対称M行列を対象として開発された補間演算子に僅かな修正を加えることで、対角成分が正であるH行列を係数行列とする連立一次方程式に対して効果的な代数マルチグリッド解法を実現している。数値解析例の一つとして、全ての非対角成分が正でありスカラールゴリズムによるコースニングが不可能な問題を取りあげ、提案された代数マルチグリッド法がこの問題に対しても有効であることを示した。
3. 辺要素を用いた電磁界解析において効果的な代数的マルチグリッド法が開発されており、シフトされた係数行列に対する代数マルチグリッド法を共役勾配法の前処理とすることで、この種の解析でしばしば表れる係数行列の特異性を回避する手法を提案した。この際導入されたシフトパラメータに関しては、ソルバの収束性への影響が小さく、最適値探索の必要性が無いという優れた特性が示されている。
4. 非対称行列が現れる実用的な解析例としてMHD発電機内の電磁流体解析及び移動導体を含む3次元渦電流解析がとりあげられ、これらに対しても代数マルチグリッド解法の有効性が高いことが示された。MHDチャンネル内解析と移動導体を含む渦電流解析では、対象としている問題が非対称係数行列を持つことから、代数マルチグリッド法を前処理とするクリロフ部分空間法として安定化双共役勾配法が使用されている。両解析で、代数マルチグリッド法の優れた性能が示された。

今後は、辺要素を用いた電磁界解析における代数マルチグリッド法の有効性をさらに向上させることを狙って、アルゴリズムの開発に取り組む予定である。

福 間 剛 士 (松重教授)

「Applications of Dynamic Force Microscopy to Molecular-Scale Investigations on Organic Ultrathin Films」

(有機超薄膜の分子スケール評価へのダイナミックモード原子間力顕微鏡の応用)

平成15年3月24日授与

シリコンを中心とする無機半導体素子の微細化限界が指摘される中で、近年、個々の分子の機能性に着目し、それを電子機能素子として利用する有機エレクトロニクス分野に対する注目が高まってきた。有機材料を用いたデバイスの性能を評価し改良するためには、そのナノスケールの構造および物性を直接評価することが必要不可欠である。本研究では、ダイナミックモード原子間力顕微鏡 (DFM) を有機超薄膜の構造および物性評価に応用し、その有用性と問題点を明らかにした。さらに、その問題点に関して原因と解決策を詳細に検討することで、それを克服するとともにDFMを用いた新たな表面物性計測手法の可能性を見出した。以下に、本研究により得られた主な成果をまとめる。

- (1) 強誘電性ポリマー薄膜の熱相転移過程に伴う構造および物性の変化を、温度可変型DFMを用いてナノスケールの実空間分解能で“その場”観察した。これにより、温度可変型DFMが熱相転移現象に関する挙動を解明するのに有用であることを明らかにした。また、探針-試料間相互作用力の大きさを適切に設定することで、最表面の構造だけでなく、表面アモルファス層の下にある微結晶の構造など、表面下の構造をも可視化できることを示した。
- (2) 絶縁性基板上有機薄膜や比較的膜厚の厚い有機薄膜などの、STMでは観察が不可能な絶縁性有機薄膜表面における分子分解能DFM観察に初めて成功した。この結果から、DFMを用いることで試料の導電性に関わらず分子分解能観察が可能であることを示した。一方、探針-試料間静電相互作用や有機薄膜の構造的不安定性の影響により、分子分解能観察が困難な場合があることも指摘した。
- (3) 有機超薄膜のDFM観察時に生じるカンチレバー振動エネルギーの散逸機構を、いくつかのモデル分子系に関して調べた。その結果、電気的探針-試料間相互作用によって生じる散逸には、散逸力によって生じる「真の散逸」以外に、保存力によって生じる「みかけの散逸」が含まれる可能性があることを指摘した。また、分子薄膜内に構造的な不安定性がある場合には、分子の揺動の影響でカンチレバーの振動エネルギーが散逸する可能性があることを明らかにした。
- (4) DFMにより得られる表面形状像と散逸像における分子スケールコントラストの形成メカニズムを、いくつかのモデル分子系に関して調べた。その結果から、表面形状像における分子スケールコントラストは表面形状だけでなく表面の化学的性質の影響を受ける場合があることを指摘した。一方、散逸像における分子スケールコントラストには、探針-試料間相互作用によって生じる分子揺動の大きさが関係していることを明らかにした。

金 田 昭 男（藤田茂教授）

「顕微分光法を用いたInGaN系量子井戸構造の光物性に関する研究」

平成15年3月24日授与

近年、窒化物半導体技術の飛躍的進展により、青・緑色から紫外の波長領域で動作するInGaN、AlGaIn系発光ダイオードや半導体レーザの開発が進められ、この波長領域における光源に革命が起こりつつある。こうした技術進展をより一層確実にするためにはデバイスの高性能化・高効率化が必須であり、微視的視点に立った詳細な光物性の基礎的解明が不可欠である。本論文は、このような基本的考えの基に、光デバイスの活性層において、本来ナノ構造に起因しているはずの輻射、非輻射中心へのキャリアの局在過程、拡散過程といったダイナミックな特性を光学顕微鏡および近接場光学顕微鏡を用いたマイクロ・ナノ分光法により明らかにし、発光層における微視的視点からの発光機構を解明することにより、高性能化・高効率化に対する基本的指針を得ることを目的として研究した結果を纏めたもので、以下の示すような成果が得られた。

- 1) 蛍光顕微鏡によるInGaN量子井戸構造の発光の温度依存性、および、約 $1\mu\text{m}$ の空間分解能をもつ蛍光顕微システムによる発光の時間分解測定を行った結果、InGaN井戸層内の発光強度、発光波長、発光寿命は空間的に著しい不均一性をもつことを明らかにし、転位や点欠陥などの非輻射中心の面内不均一性を示す結果を得た。
- 2) 活性層面内の発光特性のより微細な空間分布を明らかにするための近接場光学顕微鏡システムを、青色から紫外の波長領域で稼動するシステムに再構築するとともに、同一の光ファイバプローブで光励起と光検出を行うイルミネーション・コレクションモードを採用し、30nmの空間分解能を達成した。
- 3) 開口径150nmのファイバプローブによる $4\times 4\mu\text{m}^2$ の範囲の発光分布を連続照射近接場顕微測定した結果、図1に示すように、強度像とピーク波長像に強い相関関係があることを見出し、さらにパルス光励起による時間分解近接場発光測定によりキャリア・励起子が量子井戸内の低ポテンシャルへ拡散して局在発光する空間的・時間的ダイナミクスを初めて明らかにした。
- 4) 開口径30nmのプローブを用いた連続照射近接場顕微測定から、数10nm以下の島構造が観測され、局在発光中心が多数の量子ドットの準位に基づくことを実証した。（図2参照）さらに、これら量子ドットは互いに近接しエネルギー的に繋がっていることを明らかにした。以上から、励起子・キャリアは面内を移動し局在準位で発光するという、空間・時間スケールに関するより詳細な発光再結合モデルを提案している。以上本論文は、InGaN系半導体発光デバイス活性層におけるナノサイズの空間的な不均一性に対して極微顕微分光法による評価を行い、微視的な観点からInGaN系の発光機構を明らかにしたもので、高性能化・高効率化へ貴重な情報を提供したものである。

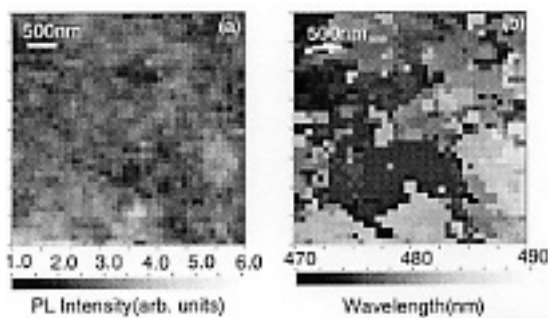


図1 開口径150nmのプローブにより得られた近接場発光ピーク強度像（左）、近接場発光ピーク波長像（右）

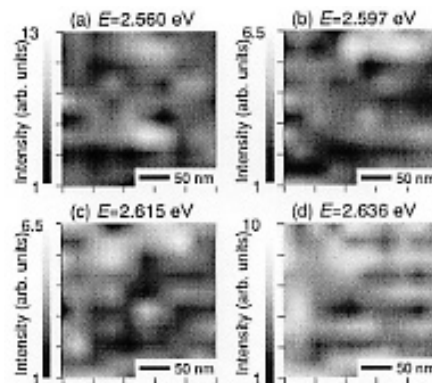


図2 開口径30nmのプローブにより得られた各発光エネルギーにおける近接場発光強度像

岡田 健一 (小野寺教授)

「集積回路における性能ばらつき解析に関する研究」

平成15年3月24日授与

近年の超微細集積回路技術において、MOSFETトランジスタの絶え間ない微細化が進行する一方、特性のばらつき量が相対的に増大する事が問題となっている。製造時のばらつき抑制にも限界があり、回路設計において素子ばらつきを考慮することが必須となっている。従来から製造ばらつきを考慮した統計回路解析は行われていたが、実際の素子ばらつきの統計的性質を反映した系統的な統計回路解析手法の研究が求められている。本論文は、系統的なばらつきのモデル化について検討すると共に、ばらつきモデルに基づく統計的特性解析技術について検討を行ったものであり、主な研究成果は以下のとおりである。

1. レイアウトを考慮した統計解析技術に重点を置き、ばらつきのモデル化、実測法、高精度解析技術について検討を行った。統計回路解析の解析精度を向上させるためには、実測特性に基づく系統的なレイアウト依存性の解析が重要であることを明らかとした。提案手法では、製造ばらつきを局所ばらつきと大域ばらつき、および、レイアウトに依存するばらつきに分離することで、統計的性質の違いを考慮したモデル化を行った。レイアウトに依存するばらつきについては、ローディング効果のモデル化を行い、実測値からモデルパラメータを抽出する手法について提案した。また、モデル化から解析まで各種の改良を行い、統計回路解析においてレイアウト依存性を考慮する手法について提案した。カレントミラー回路の高精度解析実験から、提案手法の有効性を示した。
2. 微細プロセスで製造されるトランジスタについて、素子特性ばらつきのモデル化を行い、ばらつきのサイズ依存性やバイアス依存性、配置位置に依存するばらつきの統計分布を表すためのモデルを提案した。製造ばらつきを数種の物理パラメータにより表現することで、トランジスタ特性のモデル化を行う。これまでの研究ではチップ内での振舞いのみ注目したモデル化が行われており、そのようなモデル化ではウェファ全体におけるばらつきの統計分布を正しく表せないことを明らかにし、大域的な変動を近似関数によりモデル化する手法を提案した。実測による評価から、提案モデルの有効性を検証した。複数のチップからの実測値に基づき、大域ばらつきが必ずしも正規分布とならないことを確認している。実測した統計分布をもとに、回路特性ばらつきへの影響を評価し、提案手法について有効性の確認を行っている。
3. 提案するモデルについて実測値からモデルパラメータを抽出するための手法についても開発した。実測した電流特性のばらつきを、物理パラメータのばらつきにより表現し、電流特性に対する各物理パラメータの感度を考えることで、各パラメータのばらつきを統計的に分離する手法を提案している。抽出手法の有効性を確認するために、実測したリングオシレータ回路の発振周期との比較を行った。リングオシレータの発振周期のばらつきについて、段数が長くなるほど局所ばらつきの影響が平均化されて小さくなることに注目し、段数の異なる複数のリングオシレータについて比較を行った。提案手法によるモデルパラメータを用いた統計回路解析の結果と、リングオシレータの実測結果とを比較し、実測とシミュレーションで傾向が一致することから提案手法の有効性を確認した。
4. デジタル回路の統計遅延解析手法について検討を行った。大規模回路の解析を行うためには、解析精度と計算時間の両立が重要である。応答曲面法を用いた論理ゲート遅延時間のモデル化手法について提案した。複数の正規分布の和がまた正規分布で表されるという統計的性質を利用し、変動変数を削減することにより計算コストを削減した。ゲート内の相対的なばらつきを考慮するために、各トランジスタにおける感度係数を用いる方法を検討した。感度係数を再利用することで、計算精度は高いままに計算コストを削減すること成功した。

本論文では、一貫して集積回路の製造ばらつき解析について取り組んだ。博士論文を通して得られた研究成果を足がかりとし、今後は、製造ばらつきを抑える回路方式について研究を続けて行く所存である。

後藤由貴（佐藤亨教授）

「Stochastic approaches to inverse problems in plasma wave analysis」

（プラズマ波動の逆問題に対する確率的アプローチ）

平成15年3月24日授与

地球周辺の宇宙空間は電離媒質であるプラズマによって満たされており、低周波の電磁波はプラズマの影響を強く受けながら伝搬することが知られています。このいわゆるプラズマ波動は地球周辺における様々な現象を知るための手掛かりとなるため、現在では複数の衛星により定常的に観測され、そのデータ解析により様々な研究が行われています。本研究では、このプラズマ波動に関する重要な課題、(i) 伝搬ベクトル方向推定問題、および (ii) 電子密度分布推定問題を取り扱っております。同問題ともに像再構成型の劣決定逆問題であり、求解には高度な信号処理が要求されます。この種の問題に対しては一般にモデルフィッティングによる求解が有効ですが、パラメトリックモデルは自由度を高くすると必然的にパラメータ数が増加するため計算量の点からあまり好ましくありません。一方でノンパラメトリックモデルは柔軟性が高い反面、拘束条件が少ない場合に解が不安定になるという欠点があり、実際にはそれぞれのモデルの長所・短所を考慮して使い分ける必要があります。本研究では、確率的手法を導入することにより適切な柔軟性を持ったモデルを実現し、同モデルを用いて最適解を求解する新たな手法の開発に取り組んできました。

プラズマ波動の伝搬ベクトル方向の解析は、波源の推定や伝搬媒質の予測などに重要な役割を果たします。本研究ではこの伝搬ベクトル方向推定問題において、波動の到来方向をエネルギー密度分布で表す WDF (wave distribution function) 法の解法を取り扱いました。プラズマ波動は、伝搬路上でプラズマの分散関係を満たすため、観測点における電磁界比・偏波面は各到来方向に対して一意に定まります。波動分布関数法は、複数もしくは広がった波源から到来した結果として観測される電磁界成分から逆に、各到来方向に対するエネルギー密度分布を推定する逆問題で、従来から様々な解法が検討されてきました。本研究では、拘束条件を満たしたときに最小となるエネルギー関数を定義し、この関数の勾配系を利用した確率的探索により像再構成を行うアルゴリズムを開発しました。開発手法は「あけぼの衛星」で取得されたデータに適用され、その優位性を明らかにすることができました。

本研究で取り扱ったもう一つの逆問題は、近年の宇宙電波応用の拡大に従い注目を集めつつある地球周辺のプラズマ分布をプラズマ波動を用いて推定するという新規性の高い研究課題です。プラズマ波動は媒質であるプラズマの影響を特に強く受け、屈折・伝搬遅延といった性質を示すため、地球周辺のグローバルな電子密度分布の調査に最もよい媒体であるといえます。本研究では、グローバルナビゲーションに用いられてきたオメガ信号および雷起源のホイストラと呼ばれる自然波動を用いて手法の開発・検証を行ってきました。まずグローバルな電子密度分布を表すために、物理的に意味のある拡散平衡モデルと自由度の高い確率差分モデルを併用した柔軟性の高いモデルを導入しました。このモデルの最適パラメータの決定のために、衛星軌道上で連続的に観測される波動の伝搬ベクトル方向・伝搬遅延時間・スペクトル形状を利用し、同観測値の事前確率分布を利用した精度の高いパラメータ推定法を開発いたしました。実際に「あけぼの衛星」で取得されたデータに適用したところ物理的に有意な結果を得られることが確認され、今後、衛星のデータベースを用いることで地球周辺電子密度分布の統計的解析の実現が期待されます。

以上のように、本研究では、宇宙空間中を伝搬するプラズマ波動の解析において重要な課題であった「伝搬ベクトル方向推定問題」と「電子密度分布推定問題」の2つの劣決定逆問題を取り上げ、確率的手法を導入した新たな信号処理法を開発し、その有効性を実観測データにより検証を行いました。

今村 裕之 (英保教授)

「ステントグラフト留置術支援のための術前・術中画像処理手法」

平成15年3月24日授与

大動脈瘤の低侵襲な治療法としてステントグラフト留置術が行われるようになってきている。

これまで大動脈瘤の治療には外科的手術によって開胸・開腹してから人工血管を埋め込む方法がとられてきた。しかし近年は、より低侵襲な治療法として動脈切開部よりカテーテルを用いてステントグラフトと呼ばれる人工血管を病変部に挿入・留置する手法が用いられるようになってきた。

本論文ではステントグラフト留置術の支援のために必要となる画像処理手法について検討した。具体的には、術前計画支援のための病変部や留置経路にあたる血管形状の計測手法と、術中に治療部位の推定を支援するための術前3次元CT像と術中2次元X線透視像との位置合わせ手法について検討した。術前計画支援のための大動脈血管形状の計測では、3次元のエッジ保存型平滑化フィルタや領域拡張法を用いて大動脈の血流部を抽出し、解剖学的特徴に基づき各血管を識別する。次に血管の直径に基づき瘤部を判定し、血流領域の境界より血栓・石灰化等の病変部の検出を行った。臨床例30例に対し本手法を適用し、提案手法によって血管形状が取得できることが確かめられた。

術中支援としてX線像とCT像との位置合わせによる術中画像の撮影領域推定と治療部位情報の表示手法について検討した。本手法では、単一方向のX線透視装置のみを用いて並進2、回転3、拡大率1の計6個のパラメータを推定する。処理手順としてはまずX線像における造影検出の後、連続フレームのX線像を用いて大まかなパラメータ推定を行い、その結果を入力として術中X線像と術前CT像から作成した平面投影像 (Digitally Reconstructed Radiograph, DRR) とのパターンマッチングを行なう。さらに位置合わせの結果を用いて3次元血管像とステントグラフトモデルを表示し、大動脈血管の走行やステントグラフト留置予定位置の把握を支援する。以上の処理を連続する動画像系列に対して実施する。

血管造影の有無が処理結果に与える影響と提案手法に適した評価関数を調べるため、CT像とX線像のシミュレーションデータを用いて実験を行なった。その結果X線像の血管造影の有無に応じてDRRの種類を切り替えてパターンマッチングを行う必要があり、評価関数としてM-estimatorが適していることがわかった。また臨床データについても、腹部1症例における4つの動画像系列に対して提案手法を適用したところ、おおむね良好な結果が得られた。提案手法をより実用的なものとするために、処理対象画像の入力方法やX線像における血管造影の検出、パターンマッチングの高速化、推定結果の表示方法についても考察した。

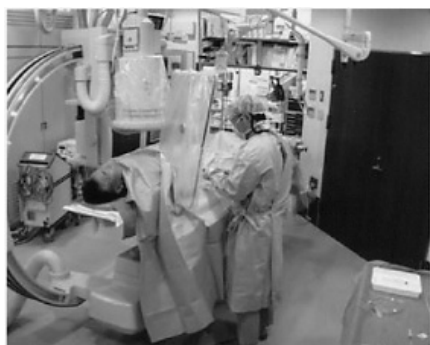


図1. ステントグラフト留置術

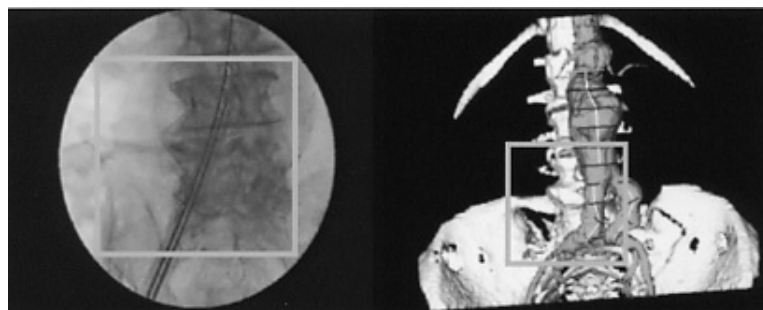


図2. (左) X線像 (右) 推定した方向・位置からの血管モデルの表示

原 口 亮（英保教授）

「核医学心筋画像と冠動脈造影との自動重ねあわせと表示」

平成15年3月24日授与

本論文では、心筋梗塞に代表される虚血性心疾患の診断支援のために、SPECTやPETなどの核医学的手法により得られる心筋機能画像と、血管造影法により得られる冠動脈造影像とを用いて、両者を自動的に重ねあわせる手法を提案した。そして提案した手法を実際の医療現場で利用するために構築したシステムについても述べた。

核医学心筋画像は、患者の体内に注入した放射性薬剤の分布をCTの原理により画像化することにより得られる3次元画像である。主として心筋の機能情報を表した画像が得られる。冠動脈造影像は、心筋に血液を送る冠動脈の形態を調べるためにX線により撮影される2次元の投影像である。虚血性心疾患は何らかの原因でこの冠動脈に狭窄（きょうさく）を生じ、心筋への血流が不足することにより引き起こされる。このように心筋の機能的変化と冠動脈の形態的变化との間には密接な関連がある。従って、核医学心筋画像と冠動脈造影との重ねあわせは診断支援や治療計画の上で非常に有用であると考えられる。

通常の診断過程では、医師はこれらの画像を別々にあるいは並べて目視により判断を下すのが主である。あるいは心筋機能画像の評価方法として一般的な冠動脈走行モデルとの関連づけが行われている。しかしながら、冠動脈の3次元的走行に個人差があることや、冠動脈造影が2次元投影像であるなどの理由により、この作業は簡単ではない。

本研究では、核医学心筋画像と冠動脈造影との重ねあわせ画像を簡便に作成する手法を考案した。また必要な位置あわせ処理を自動的に行う手法を考案した。冠動脈や心筋に関する事前知識・特徴・対象画像の解像度の違いを考慮した上で、自動的に簡便に冠動脈3次元像と重ねあわせ画像を得る手法を提案した。提案手法では冠動脈枝の特徴点抽出や対応付けといった人手を要する煩雑な処理を行わずに結果画像を得ることができる。人工データを用いたモデル実験により提案手法の有効性を確認し、さらに臨床データへの提案手法の適用により重ねあわせ表示の有効性を確認した。最終結果の重ねあわせ像を図1（ブルズアイ表示）と図2（3次元表示）に示す。ブルズアイ表示は核医学心筋ボリュームデータの表示方法として臨床の場で広く用いられている2次元極座標表示である。重ねあわせにより冠動脈の走行の様子を心筋機能と関連づけながら観察することができるようになった。

また提案手法の臨床での実際の利用を目指して、画像の入力から位置あわせ・再構成・重ねあわせ表示・結果画像の出力まで一連の処理を行うシステムを構築した。動作画面を図3に示す。臨床診断の目的で重ねあわせを行う場合には自動位置あわせ誤りへの対策は非常に重要であり、そのために用手的な位置あわせ、画像操作を行うためのインターフェースを実装した。



図1 重ね合わせ結果画像
（ブルズアイ表示）



図2 重ね合わせ結果画像
（3次元表示）

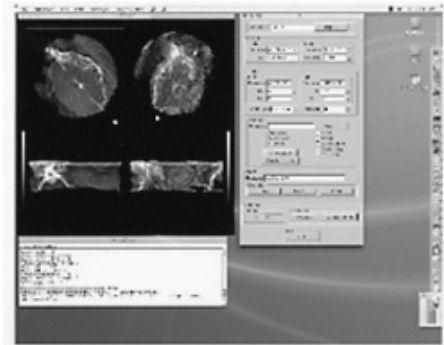


図3 システムの動作画面

山 岸 統 (近藤教授)

「Linear Analyses of Ideal and Kinetic Pressure-Driven Instabilities in Helical Plasmas」

(ヘリカルプラズマにおける理想および運動論的圧力駆動型不安定性の線形解析)

平成15年3月24日授与

プラズマの磁場閉じ込めによる核融合炉を目指す上で、少ない磁場エネルギーで高温高密度の圧力の高いプラズマを閉じ込めることが経済的観点から必要であり、とくにヘリオトロンJやLHDのようなヘリカル系プラズマでは、高いプラズマ圧力に起因する電磁流体力学 (MHD) 不安定性が問題となる。本論文では、理想MHDおよび運動論的MHDの観点から、ヘリカル系プラズマの幾何形状が軸対称でないことに起因する圧力駆動型不安定性の解析手法を確立し、その物理機構を解明することを目的としている。

まず、ヘリカル系プラズマに対し、磁力線方向一次元の理想MHD局所解析を行い、トカマクプラズマでは起きない非軸対称性の非常に強い圧力駆動型不安定性の存在を示した。とくに本論文では、磁力線の局所的な捩れによる安定化因子と磁力線曲率による不安定化因子を詳細に調べることにより、この不安定性の物理機構を初めて解明した。また、この知見を活用し磁力線の捩れを制御することにより、この不安定モードを安定化できることを示した。

以上の解析手法は、一次元の局所解析を各磁力線に対して行うので比較的容易で有用な方法である。しかし、非軸対称性の強い不安定モードに対しては、局所近似の妥当性に問題があることが分かっており、この不安定モードが実際にプラズマ中に巨視的な構造を持って存在しているのか、またそのような巨視的モードに対して局所解析がどのような意味を持つのかは明らかにされていなかった。本論文では、三次元MHD不安定性の大規模数値解析を行い、局所解析で予想された不安定モードが実際に巨視的構造を持って存在することを示すと同時に、局所解析と巨視的解析の結果には密接な関係があることを世界で初めて示した。この結果は、局所解析の有用性を示す非常に重要な結果である。

また、以上の理想MHDによる解析は、この不安定モードが非常に短い波長のモードであることを示した。このことは、プラズマの粒子性に関連する運動論的効果が重要となる可能性を示唆する。本論文では、運動論的効果を取り入れた局所解析により、理想MHDモードに対する運動論的効果の影響を論じた。その結果、運動論的効果が非軸対称性の強い不安定モードに大きな影響を与えることを初めて具体的に示した。

このように、本論文では一次元局所解析により圧力駆動型不安定性の発生機構を解明し、安定化のための方策を示した。さらに三次元解析によりその局所解析の有用性を明らかにした。また、圧力駆動型不安定性に対する運動論的効果の重要性を具体的に明らかにした。これらの結果は、ヘリカル系プラズマの安定限界を調べ、より優れた先進的なプラズマ閉じ込め配位を開発する上で非常に重要かつ有用なものである。

磯田 総子 (津田教授)

「A Study of Wind Oscillations in the Mesosphere and Lower Thermosphere at Low Latitudes Observed with MF and Meteor Radars」

(MFレーダーと流星レーダーによって観測された低緯度中間圏下部熱圏における風速振動に関する研究)

平成15年3月24日授与

大気はさまざまな周期で変動している。よく知られている周期は、地軸の傾いた地球が公転することによって生じる一年の周期や、地球の自転による1日の周期である。それ以外にも、数日、数十日、数年といったさまざまな長さの周期で大気変動している。これらは地球大気を持つ自然の振動であり、このような周期的な大気の変動を大気波動と呼んでいる。大気波動は主に対流圏で作られるが、太陽によって大気の物理現象が左右されている熱圏の下部（高度約100km）にまで伝播していることが知られている。この高度では、大気波動の振動が維持できず壊れ、そのエネルギーが背景場に与えられ、風速や温度などの大気構造を変化させていることが知られている。上空にまで達するこのような大気波動の性質や変動特性に関する研究は、地上からの観測点が多い中緯度帯においては進んでいたが、大気波動の多くが作り出される熱帯の上空では観測が非常に少なくまだわかっていないことが多かった。本研究では、この高度の風速を測定するために京都大学がインドネシア・オーストラリアと共同で設置したインドネシアのカリマンタン島ポンティアナMF（中波）レーダー、ジャカルタ流星レーダーのほか、通信総合研究所の鹿児島県山川MFレーダー、および太平洋クリスマス島MFレーダーのデータを解析し、熱帯の中間圏下部熱圏（高度約70-100km）における長周期（数日-数十日）の大気波動の特性を明らかにした。

ポンティアナ、クリスマス島、山川MFレーダーの3地点の観測を比較することにより、これらの地点で観測された約5日、16日周期の東西風振動の緯度、経度構造を調べた。この結果、これらの風速振動が、理論的に予測されている地球大気のもつ自由振動（ノーマルモードロスビー波）で説明できる場合があることがわかった。また、ノーマルモードロスビー波では説明の付かない約5日、16日周期の風速振動も存在するが、これらの振動の原因として、中間圏起源の不安定波動や、中間圏における冬半球からの伝播などが示唆された。

低緯度には低緯度特有の大気波動が存在するが、赤道を中心とする低緯度を東方向に伝播するケルビン波が代表的である。そのほか、重力を復元力とする大気重力波も、低緯度では積雲対流活動を起源とするものが多く励起されている。また、1日周期の大気潮汐波も赤道域で顕著である。これらの大気波動の長期変動を、ジャカルタの流星レーダーの1993年から1999年までのデータを用いて調査した。その結果、超高速ケルビン波と思われる東西風の約3.5日周期の振動や大気重力波に半年周期の変動があることがわかった。また、いずれの大気波動も1996～1997年にかけて活動が弱くなっていることも明らかになった。

また、低緯度中間圏下部熱圏において、数十日（約30～70日）周期の東西風振動（季節内振動）があることが知られているが、本研究ではジャカルタ、ポンティアナ、クリスマス島の複数地点のデータを用いてその特徴を調べた。その結果、経度90°離れたポンティアナとクリスマス島ではほぼ位相差がないことから、季節内振動が経度変化を持たない帯状平均的な風速振動であることが推測された。また、季節内振動の振幅が潮汐波の季節内振動の振幅と関連があることが示された。さらに、対流圏の積雲対流の活動の指標となる赤外長波放射データ（Outgoing Longwave Radiation）とジャカルタにおける季節内振動の振幅を比較したところ、東経100～150度の赤道域の赤外長波放射データに見られる季節内振動と関連があることを示唆する結果が得られた。これらの結果から、対流圏で生成された大気潮汐波が対流圏中で季節内振動の周期に変調され、その大気潮汐波が上空に伝播し波のエネルギーを背景風に与えることで、低緯度中間圏下部熱圏における季節内振動が駆動されていると推測された。

今後多くのレーダーとの比較研究や、たとえば京都大学がインドネシアと協力して2001年に設置した赤道大気レーダーのような下層大気の観測結果との比較研究が行われ、より詳細に大気波動の生成、伝播、碎波過程が明らかにされると思われるが、以上の研究結果はそれに先駆けて中間圏下部熱圏の大気力学をより深く理解するためのステップである。

濱田 純一（深尾教授）

「A Climatological Study on Rainfall Variations over the Indonesian Maritime Continent」

（インドネシア海洋大陸における降水変動の気候学的研究）

平成15年3月24日授与

インドネシアは複雑な地形を持つ大小多数の島々からなり、海洋大陸と呼ばれている。海洋大陸域では気象衛星や熱帯降雨観測衛星により、熱帯域においても特に降水・対流活動が活発な領域であることが知られている。また、活発な降水活動は潜熱の放出を通して、大規模大気循環の熱源として働くのみならず、生活用水や農業生産といった社会生活にも大きな影響を与えている。以上の点からも、降水は熱帯域の気候を特徴付ける上で最も重要な物理量であると言える。現在、インドネシアにおける地上気象（降水量）観測は全国数千地点において実施され、歴史の古い地点では19世紀後半より行われてきている。しかし、広大な領域にわたるデータの収集・整理や品質管理の問題、ならびに公開上の制限によって、衛星観測と比較し得る地上気象観測データベースは、これまで存在していなかった。

そこで本研究では、インドネシアにおける地上気象観測資料（特に日降水量）を筆者自身が中心となって収集・整理し、多地点・高時間分解能の気象データベースを初めて作成することによって、海洋大陸域の降水分布・変動の詳細な特徴を明らかにすることを目的とした。特にインドネシア全域での降水変動の気候学的な特徴、ならびに複雑地形と降水の局地性の関連を明らかにするため、広域・長期間（1961-90年のインドネシア全域約150地点）及び限られた領域での多地点（1985-94年、スマトラ島西部赤道域約100地点）の日降水量データを収集、解析することにより以下の結果を得た。

まず海洋大陸全域の降水量の季節変化の特徴として、南半球域に位置する地点を中心として、南半球夏季極大の年周期を示す季節変化が卓越し、衛星観測により知られている東南アジアからオーストラリアへ向けての季節進行の他に、ジャワ島周辺でインド洋側からジャワ海側へ雨季が南北進行することを明らかにした。また、エルニーニョ・南方振動（ENSO）に伴う雨季の経年変動について、インド洋側に位置する大部分の地点で雨季の期間のずれが顕著であるのに対し（エルニーニョ年に雨季の開始・終了が遅れる。ラニーニャ年にはその逆の傾向。）、雨季の降水量自体には差が見られないことを明らかにした。一方でジャワ海側の地点では季節位相固定された季節内変動が卓越し、兩年の間にほとんど差が見られないことを示した。つまり、海洋大陸スケールで雨季とENSOの関連の差異が存在するのみならず、島のスケールにおいても違いが存在することを明らかにした。さらに、エルニーニョの出現頻度に対応してジャワ島周辺の雨季の入り（入り）の経年変動の特徴的な時間スケールが異なり（1960年から70年代前半は2～3年、1910年から40年、1970年代後半以降3～4年）、またENSOとの関連の強さから（ENSOに対応した雨季のずれにより説明される）観測期間平均の雨季の特徴も異なるなど、数十年規模の気候変動が存在することも明らかにした。また、スマトラ島山岳域においては、急峻な山脈より西側のインド洋に面する海岸域で季節内変動が卓越し、東部の山岳域では南半球夏季を中心とした降水の季節変化が顕著であるなど、地形により主要な降水変動が特徴付けられることを示した。また、海岸域の降水はインド洋上の大規模擾乱の季節内変動によく対応しているのに対し、内陸部の降水は大規模擾乱との関連は低く、主として日変化などスマトラ島周辺の局地的な対流活動との関連が明らかになった。

以上、得られた結果より、インドネシア海洋大陸域における降水活動には時間的「階層性」が存在し、その出現状況により地形、島、海洋大陸規模に及ぶ降水分布・変動が特徴付けられることを観測事実に基づき、詳細に明らかにした。2001年からスマトラ島において赤道大気レーダーの連続観測が行われているが、本研究は赤道大気レーダー建設候補地の基本的な気象条件を明らかにする一環として、筆者自身が学部生の頃に解析を開始したものである。これまで筆者自身も何度も現地に向かいデータ回収を実施してきたが、修士過程二回生の時に初めてインドネシアに行った際には食中毒でお腹を壊し、また、インドネシアでも代表的なパダン料理の辛さに四苦八苦していたが、現在では好物の一つとなった。最後に学位論文をまとめるにあたって、多くの協力を頂いたインドネシアの方々、ならびに宙空電波科学研究センターの皆様に感謝の意を表したい。

川 村 誠 治 (深尾教授)

「A study of wind variations and their effects on the mid latitude ionosphere and thermosphere based on the MU radar observations」

(MUレーダー観測に基づく中緯度電離圏・熱圏における風の変動とその影響に関する研究)

平成15年3月24日授与

この論文では、電離圏または熱圏と呼ばれる高度領域に吹いている風（以下熱圏風と呼ぶ）の振る舞いと、それがこの領域に及ぼす影響について議論している。電離圏・熱圏は高度約90kmから600kmほどの領域であり、多くの生命体にとって有害な極紫外線を吸収するなど地球環境の維持のために大きな役割を果たしている。電離圏という名前は、極紫外線の吸収により大気の一部が電離して電子とイオンが生成されることに由来し、熱圏と呼ばれるのは極紫外線の吸収により中性大気が最大で約2000Kという高温になるからである。

人類が電離圏・熱圏を積極的に利用した最初の例は短波通信である。この領域の電離大気が反射板的役割で遠距離通信に寄与することが分かり、これを起点に電離圏・熱圏の研究が始められた。この領域は近年では人工衛星やスペースシャトル、国際宇宙ステーションが飛ぶなど、人類活動の場として広く利用されている。宇宙利用が盛んになるに連れ、電離圏・熱圏中の擾乱現象が衛星通信におけるノイズになったり、衛星測位システムの誤差要因になるなど新たな課題も生まれ、この領域をよりよく知ることがますます重要になってきている。

電離圏・熱圏中の電離大気は背景の中性大気と比較して非常に希薄であり、中性大気の流れである熱圏風の影響を強く受けている。一方電離大気はその運動を地球磁場に拘束されているため、熱圏風はこの電離大気との衝突によりその振る舞いに強い影響を受けている。このように電離大気と中性大気は相互に影響し合っており、熱圏風は電離圏・熱圏の理解に非常に重要な要素の一つと言える。本研究は、この熱圏風を通して電離圏・熱圏の振る舞いを明らかにしようとするものである。

滋賀県信楽町にあるMUレーダーはアジア域で唯一この高度領域（主として200kmから600km）の電子密度、電子・イオン温度、そして熱圏風を観測できるレーダーである。MUレーダーの十数年にわたる観測データを用いて、主に統計的な手法によって熱圏風、電子密度、電子・イオン温度やイオン組成の変動とそれらの相互作用の研究を行った。

電離圏・熱圏の電離源が太陽からの極紫外線であることから分かるように、この領域は太陽からの影響を強く受けており、太陽フレアを起源とする地磁気の乱れによる変動、11年周期を持つ太陽活動による変動、季節変化や日変化など様々な周期の変動が見られる。熱圏風の統計解析では日変化の振幅の太陽活動度による違いや、平均風の季節による差などさまざまな変動が見られており、他観測や経験モデルとの比較も含めて熱圏風の振る舞いについて議論している。その他に電子密度、電子・イオン温度の年変化に対する熱圏風の影響についてや、MUレーダーで初めてとなる電離圏・熱圏とその下に位置する中間圏の同時観測による地磁気擾乱時の風速変化についても論じている。また、MUレーダーで初めて電離圏上端に存在する水素イオン密度の推定を行い、その統計解析結果と水素イオン密度に対する熱圏風の影響についても議論している。

十数年にもわたる膨大な観測データを用いた電離圏・熱圏の研究報告は世界的にも希少である。近年人類活動が電離圏・熱圏にまで広がるに連れ、この領域の振る舞いが人間の生活に与える影響が大きくなっており、宇宙天気と呼ばれる研究も盛んに行われている。本研究の成果は高精度の電離層モデルを必要とする宇宙天気の分野にも大きく寄与するものと考えられる。

Hassenpflug, Gernot (深尾教授)

「Study of turbulence structures in the lower atmosphere using spaced antenna techniques with the MU radar」

(MUレーダー空間干渉計法による下層大気圏の乱流構造の観測)

平成15年5月23日授与

対流圏、成層圏、中間圏における大気力学の最も困難な課題は乱流である。乱流については、種々のリモートセンシング、例えば可視光線やマイクロ波（電波）を用いた、乱流からの散乱波の解析から、その物理量の運用、波動、相関性などの解明が行われている。一方、レーダーは、天候にかかわらず観測が可能であるという利点があり、気象や超高層大気中の乱流研究に適している。

MUレーダーは滋賀県信楽町に設置された巨大なVHF帯（直径103メートル、周波数46.5MHz）の大気レーダー装置であり、高度1.5kmから700km以上までの大気を多様な方式によって観測可能である。本論文で用いられた空間干渉計法とは、受信アンテナを3～4分割して使用し、それぞれの領域から得られる反射エコー信号の相関関数から大気の物理量を推定する手法である。大気の屈折率の揺らぎパターンの運動や形状を推定可能である。屈折率の揺らぎは乱流に関連があることから、乱流の観測が可能である。

本論文では、空間干渉計データの解析法のうち、Doviak et al. (1996) 及びHolloway et al. (1997) が提唱した解析法を主として用いた。この手法によって、散乱波の空間相関関数からアンテナビーム幅の効果を取り除いて大気乱流の構造による寄与を推定することが可能となる。論文では、MUレーダーによる観測から同方式の有効性を明らかにすると共に、誤差伝搬の理論を用いて同方式のランダム推定誤差を導出した。また背景風速の測定結果と同方式による乱流の水平構造の観測結果の比較を行って、乱流が背景風のシア方向に長く伸びた構造をもつことを明らかにした。これは大気乱流の生成に風のシアが大きく寄与することを示唆するものである。

空間干渉計のデータ解析方法としては、相互相関関数によらず乱流の構造関数を用いる方式がPraskovskyによって提唱されている（2000）。本論文では、この解析法をMUレーダー観測データにはじめて適用し、従来法との比較を試みた。結果として風速の測定値が両方で非常によく一致する一方、乱流強度の推定値には推定法の原理の違いに起因すると思われる相違があることをはじめて指摘した。

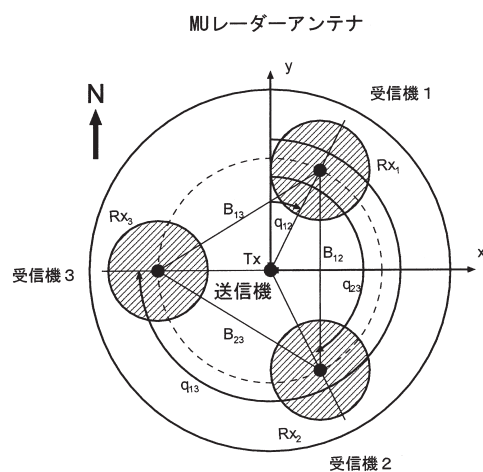


図1 MUレーダーにおける空間干渉計法の受信アンテナ配置

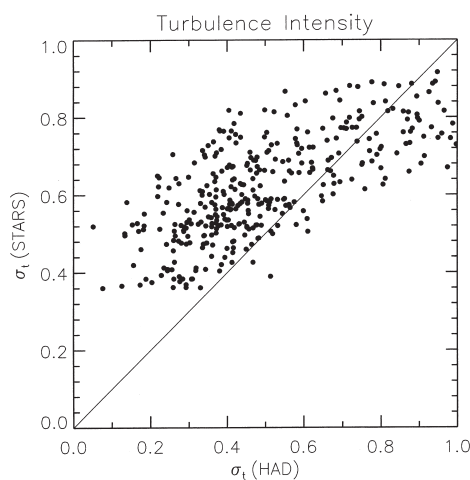


図2 相関関数 (HAD) と構造関数 (STARS) の乱流強度の散布図

鈴木 康 浩 (近藤教授)

「Free-Boundary MHD Equilibria of Non-Axisymmetric Torus Plasmas」

(非軸対称トーラスプラズマの自由境界MHD平衡)

平成15年7月23日授与

トーラスプラズマの磁場閉じ込めによる核融合炉を目指す上で、プラズマの電磁流体力学 (MHD) 平衡が存在することは本質的である。しかし、トーラスプラズマの幾何形状に軸対称性がない場合、そのMHD平衡を実験条件に即して矛盾なく求めることは容易ではない。本論文の目的は、これまで十分な解析ができなかった複数の非軸対称トーラスプラズマのMHD平衡を、現実的な自由境界条件のもとで求める数値解析手法を開発すること、さらにこの手法を用いて得られる三次元自由境界MHD平衡から、新たな物理的知見を得ることである。

まず、トロイダル磁場リップル (TFリップル) と呼ばれるトロイダルコイルの離散性に起因する非軸対称性を持つトカマクプラズマ (リップルトカマク) のMHD平衡を解析する手法を示している。リップルトカマクでは高エネルギー粒子の閉じ込め劣化が問題となっているため多くの解析が行われているが、ほとんどの解析では軸対称平衡にTFリップルを重畳する近似が行われており、三次元MHD平衡を矛盾なく解析した例はほとんどない。本論文では、プラズマ圧力による平衡磁場の変化に起因したTFリップル分布の変化とその物理機構を、初めて定量的に示した。また、そのTFリップル分布の変化が高エネルギーイオンの粒子軌道に及ぼす影響を詳細に議論した。ヘリカル系プラズマでは、通常VMECと呼ばれるコードで平衡解析が行われる。しかし、VMECを用いて自由境界平衡計算を行う場合、プラズマ中の全トロイダル磁束を与える必要がある。そこで、本論文ではこれを矛盾なく求める方法としてVMECと磁力線追跡コードを組み合わせる手法を用い、ヘリカル系プラズマに適用した。これに対して京都大学のヘリオトロンJ装置のプラズマは、最外郭磁気面の形状が複雑であるため、VMECを用いた自由境界平衡計算は正確ではない。そこで、磁気面の存在を仮定せず平衡を求める大規模平衡計算コードHINTの改良も行った。これにより初めてヘリオトロンJのような複雑な平衡配位における磁気島の形成などが効率よく解析できるようになった。

このように、本論文では非軸対称トーラスプラズマの自由境界MHD平衡を実験条件に即して矛盾なく求めるいくつかの手法を新たに開発・改良し、さらにこれらを用いたリップルトカマクとヘリカル系プラズマの解析から、プラズマ圧力による平衡磁場の変化がTFリップルや磁気島形成に及ぼす影響を明らかにした。これらの手法および結果は、核融合炉を開発する上で重要かつ有用なものであり、今後さらなる発展が期待できる。

宮 崎 崇 (松重教授)

「分子デバイス構築に向けたSPMによる微細構造の作製と電気特性評価」

平成15年9月24日授与

本論文は分子デバイス構築を目的として行われた、原子間力顕微鏡 (AFM) によるナノスケール微細構造の作製と有機超薄膜の局所電気特性評価についての一連の成果を取りまとめたものである。本論文により得られた主な研究成果は以下の通りである。

- (1)チオフェンオリゴマーの単分子膜をチャンネル層とする薄膜トランジスタを作製し、そのトランジスタ特性とケルビンプローブフォース顕微鏡 (KFM) 測定を行った。この結果、ゲートバイアスにより誘導されたキャリアのゲート絶縁膜/有機薄膜界面における閉じ込めを初めて実験的に実証すると共に、X線回折法では評価が困難であった単分子膜の結晶性について、アモルファスライクな構造を有していることを明らかにした。
- (2)薄膜トランジスタの電極間をフルカバレッジしたチオフェンオリゴマーの多層膜に対してKFM観察を行った。これにより、有機薄膜トランジスタの線形領域における動作は、電極金属/有機薄膜接触界面の電気特性を強く反映していることを明らかにした。
- (3)電極金属/有機薄膜接触界面の局所電気特性評価において必要不可欠となる原子レベルで平坦な極薄Pt電極の作製に初めて成功した。さらにこれに対して、AFM探針を用いたスクラッチ加工を行い、ナノギャップ電極の作製に成功した。
- (4)走査プローブリソグラフィー (SPL) において、注入電荷量の精密制御を行う独自の装置開発を行い、レジストの細線パターン、及び細線中にナノギャップを有する微細パターンの作製に成功した。さらにレジスト微細パターンをケミカルエッチングにより転写することにより、導電性を有するTiの微細構造作製に成功した。

【論文博士一覧】

出口 幹雄	「Study on the Insulated Probe Method for Monitoring Processing Plasma」 (プロセッシングプラズマのモニタリングのための絶縁プローブ法の研究)	平成15年1月23日
岡本 英二	「振幅位相変調と符号化を組み合わせた高能率無線伝送方式に関する研究」	平成15年1月23日
今井 一雅	「Modeling of Modulation Lanes in Jupiter's Decametric Radio Spectra」 (木星デカメートル波スペクトル中のモジュレーション・レーンのモデルに関する研究)	平成15年1月23日
大塚 寛之	「両面受光型単結晶シリコン太陽電池に関する研究」	平成15年3月24日
岡 徹	「Novel GaAs Heterojunction Bipolar Transistor Technologies for High-Speed and Low-Power Applications」 (高速低消費電力を目指した新しいGaAs系ヘテロバイポーラトランジスタの研究)	平成15年3月24日
笠松 直史	「トリウム添加ファイバ増幅器の利得シフトと大容量波長多重光通信システムへの応用」	平成15年3月24日
長田 芳裕	「LSI製造における薄膜プロセス起因の欠陥発生メカニズムとその抑制に関する研究」	平成15年3月24日
井上 尚也	「高信頼性強誘電体集積メモリ (FeRAM) 技術のためのPZT薄膜物性制御に関する研究」	平成15年3月24日
嶋田 恭博	「Studies on Electrical Properties of Integrated Ferroelectric Capacitors and Their Degradation Processes」 (集積化した強誘電体キャパシタの電気的諸特性とその劣化過程に関する研究)	平成15年3月24日
浮田 浩行	「Shape-from-Shading Analysis for Reconstructing 3D Object Shape using an Image Scanner」 (イメージスキャナを用いた陰影情報解析に基づく3次元物体の形状復元)	平成15年3月24日

石川 憲洋	「マルチキャスト通信に関する研究」	平成15年3月24日
松田 年弘	「需給曲線モデルに基づく電力市場の価格リスク評価に関する研究」	平成15年3月24日
本田 道隆	「循環器X線診断における被曝低減技術の研究」	平成15年5月23日
佐原 明夫	「分散マネージドソリトン伝送システムの研究」	平成15年7月24日
佐々木鉄雄	「競争環境に対応した負荷周波数制御とその評価指標に関する研究」	平成15年9月24日