

プロジェクト名 : 機能と帰納：情報化時代にめざす科学的推論の形  
プロジェクトディレクター：樋口 知之（統計数理研究所）

## 1. プロジェクト体制

### (1) 予測とリスク解析

研究代表者

〔統計数理研究所〕江口真透

共同研究者

〔統計数理研究所〕江口真透、足立 淳、椿 広計

詳細はサブテーマ参照

### (2) 情報・通信“メタウェア”とその応用

研究代表者

〔統計数理研究所〕中野純司

共同研究者

〔統計数理研究所〕中野純司、松井知子、瀧澤由美

詳細はサブテーマ参照

### (3) ダイナミック逆問題

研究代表者

〔国立極地研究所〕佐藤夏雄

共同研究者

〔国立極地研究所〕門倉 昭、和田 誠

〔統計数理研究所〕尾形良彦

詳細はサブテーマ参照

## 2. 今年度の研究概要

### 2-1. 前年度の研究成果

地球、生命、社会における複雑な対象物の理解のために、統計的モデル構築法と予測アルゴリズム、情報抽出・知識発見のための情報統合の方法など、分野に共通のツール創成の研究開発を行った。予測とリスク解析サブテーマにおいては、個人化医療に向けた治療効果予測のために、乳がんの治療薬の感受性と遺伝子との関連分析を精力的に行った。分子系統樹推定法に関しては、進化速度・進化パターンが遺伝子毎に異なることを仮定した Separate Model を適用すべきであることが分かった。外国人教授を招聘し、定量的リスク解析に関する啓発活動のために、連続講義や国際研究集会、国際シンポジウムを実施した。また、医薬品安全性データベースの構築を引き続きすすめ、市販前の臨床試験の降圧

剤のデータベースを作成した。情報・通信メタウェアサブテーマでは、プログラム言語での高レベルな部分である、メタウェアの概念を明らかにするとともに、そのアイデアを実装するさまざまな実験を統計言語 R を使って行った。帰納的学習機械に関するソフトウェアの開発として、種々のプログラム整備を行うとともに、分野横断的なノウハウの報告書を作成した。情報・通信システムの信頼性向上と極小消費電力の二つを同時に達成する同期システムの開発最終段階での諸問題解決と調整を行った。ダイナミック逆問題サブテーマでは、オーロラの南北共役性の定量的評価をより確固たるものにする、新たなデータを獲得できた。新しい種類のデータをも取り込んだ、新たな一般化オーロラトモグラフィ解析アルゴリズムを開発した。開発した多チャンネル流星観測手法を、京大 MU レーダーの一般的ユーザも利用できるように環境整備を行った。時空間的に広域の地震活動をリアルタイムにモニタリングできる ETAS モデルの実用化をすすめ、応用を通じた新しい知見を多数得ることができた。

## 2-2. 今年度の研究目標

地球、生命、社会等の 4 研究所の融合分野において戦略的研究を推進しながら、複雑なシステムの理解のための、帰納的手法、あるいは帰納的手法と演繹的手法との融合的手法による、システムの機能のモデル化に関する研究開発を行う。今年度は研究プロジェクトの最終年度であるので、これまで開発してきたモデルやアルゴリズムの、外に向けたアピールに注力する。具体的には、科学研究においてモデリングを行う際の有用なツールとなる解析システムの例示のために、帰納的考えのもとづくメタウェアやマシンのツール化・資料化をすすめ、開発した帰納的手法のインターネット等を通じた一般公開を行う。またあわせて、これらの手法の他分野への適用可能性について調査研究する。当然ながら、これまで得られた成果を適宜国内外の学会及び論文にて発表することも行う。

## 2-3. 研究推進の考え方

研究推進のために 3 サブテーマ体制を維持する。テーマ全体としてシンポジウムを開催し、研究者コミュニティへの機能と帰納のコンセプトを再度啓発する。これまでの成果を、とくに開発してきたモデルやアルゴリズムの機能をまとめた報告集を作成する。各個別サブテーマの研究推進における考え方は以下のとおりである。

リスク研究ネットワークを利用し、リスク解析の分野横断的な側面を十分理解することで、俯瞰的にプロジェクト型研究を担える人材養成をすすめる。また、NAREGI プロジェクトの成果を活用するとともに、統数研、極地研、情報研のスーパーコンピュータ、乱数、並列化等の科学計算資源を活用する。分野横断的な帰納的手法の体系化のために、異分野共同研究者間の討論会を定期的に行う。自然物の生体システムと人工物の組み込みシステムの二つのシステムを機能の観点から整理することで、人工物の開発に新しい視点から取り組む。育成融合プロジェクトで開発された「バーチャルオーロラ」装置を用い研究をす

すすめることにより、本プロジェクトでの南北共役性の研究チームとの連携を深める。これまで構築してきた多チャンネル流星観測手法のさらなる高精度化をめざし、各種干渉計やイメージング観測プログラムの開発をすすめる。開発してきたプログラムの公開に必要な、ソフトウェアのマニュアル作成を行う。注目すべき地震活動が報告された際には、果敢かつ機動的にデータを収集し、地震予知研究に資する。

本プロジェクトには統計数理研究所と国立極地研究所の研究教育職員が多数参加しているが、両機関は今年度に立川に同じ建物に移転予定であるため、移転後にプロジェクト推進上問題がないか、問題の洗い出しと検討を引き続いて行う。

#### 2-4. 期待される効果

個別的な問題解決のみならず、新たな研究者の養成や、分野横断的研究者ネットワークの構築や拡大が期待できる。シンポジウム、チュートリアルセミナー等を開催することで、医薬品・食品リスク、環境リスク、金融・保険リスクの三分野を超えたリスク解析の人的ネットワークが拡大できる。また、計算機による帰納的モデリングのための環境整備を通じて、将来のあらゆる分野の科学技術用計算機環境のパイロットシステムの創成に寄与できる。また計画中の、帰納的手法の体系化に関する報告書やノウハウをまとめた実用資料は、さまざまな分野におけるマルチメディア意味解析手法の開発に貢献できる。近未来的な次世代型生物型情報処理システム実現への道筋をつけることができることも効果としてあげられる。また、地上と衛星データのさまざまな誤差と、利用するモデルの不確かさを考慮に入れた統計的解析手法の構築を通して、極域科学における異種情報の統合解析に関して世界的にイニシアティブをとることができる。極域での新しい現象抽出のためのアルゴリズムおよびモデルのチューニング等の開発を通じて得られた知見を総括することで、開発してきた手法の、異分野での大量データからの現象発見手法への転用を促せる。これまで開発してきた ETAS モデル群はもはや地震活動研究者や実務者にとって欠くことのできない研究手段に成長してきた。この動きを生かして、確率的地震活動予測の実用性をあげられる。

### 3. サブテーマの構成

[予測とリスク解析] 江口真透

研究目標：

乳がんの治療薬の治療効果予測のための予測キットの実用化に向けて注力する。進化の過程で生じた様々な偏りに対応し、その偏りを補正する塩基・アミノ酸・コドンの新しい置換モデルを開発する。また、医薬品安全性データベースをさらに充実させ、一般的な製品・サービスのリスク評価方法への展開を検討する。

[情報・通信 “メタウェア” とその応用] 中野純司

研究目標：

R のグリッド化を完成し、引き続き科学研究に有用な計算機環境を構築する。映像データからの不変情報の学習検索研究については、特徴量の改良等により検索能力の向上につとめるとともに、分野横断的な帰納的手法の体系化をすすめ報告書としてまとめる。無線データシステムの開発に関しては、そのデモンストレーションや成果の学会発表に注力する。

[ダイナミック逆問題] 佐藤夏雄

研究目標：

一般化オーロラトモグラフィアルゴリズムの完成度を高め、その検証に必要な同時観測キャンペーンを計画・実施する。同時に、これまで得られた多チャンネル観測データの自動処理を行い、3次元イメージのデータベースを作成する。ETAS モデルのさらなる高精度化をめざし、問題の個別化対応と地震の検出率を考慮に入れたモデルの開発を進める。

4、今年度の予算金額及びその内訳

費 目	金額	主な用途
人件費	61,400	プロジェクト研究員、研究補助、技術補佐員 の雇用
物件費	77,000	
備品費	10,400	パソコン、プリンター複合機、ワークステーション RAID 型 NAS、研究員用什器、グリッド用高性能計算機、 実験モニタ用 PC、気象データ (ERA-Interim) 用 RAIDHDD
消耗品費	18,700	ソフト・書籍等、データ購入、記憶媒体、ニューラルネットワークシュミレーションソフト開発、電子部品、ラジオゾンデ (1300)
旅 費	23,300	国内・国外学会発表、調査旅費、学会参加、招聘旅費、 ALIS-REIMEI-EISCAT キャンペーン観測旅費
謝 金	3,430	研究集会補助、講演謝金、英文校正、データ入力補助
その他 (PD 裁量費含む)	21,170	データベース端末契約、コンファレンス展示物運送費、 計算機運用管理サービス、論文投稿料
合 計		138,400 千円

< 1 品もしくは 1 組が 500 万円以上の物件リスト >

なし

5. その他

プロジェクト名 : 機能と帰納: 情報化時代にめざす科学的推論の形  
サブテーマ名 : 1 予測とリスク解析

サブ・サブテーマ名: 1-2 遺伝子多様性

## 1. プロジェクト体制

研究代表者

[統計数理研究所] 江口 真透

共同研究者

[統計数理研究所] 藤澤 洋徳、池田 思朗、栗木 哲

[統計数理研究所] 伏木 忠義

[九州大学システム情報科学研究院] 川喜田 雅則

[(財) 癌研究会癌研究所 癌研究所・ゲノム解析センター] ★ 松浦 正明

[奈良先端大学情報科学研究科] ★ 竹之内高志

## 2. 今年度の研究計画

### 2-1. 前年度の研究成果

SNP ゲノム網羅データから降圧薬剤の感受性のパタン認識について考察した. アフィメトリクス社の提供する 50 万ベースの SNP のタイピング・データと被験者の臨床情報との関連解析を行った. この問題に対してある表現形としての薬剤の感受性にターゲットを絞って統計的機械学習の方法を開発し一定の結果が得られているが降圧効果の判定について若干の情報不足があり今後の問題となった.

国立センターがんセンターから提供された乳がんの治療薬の感受性と遺伝子関連分析のプロジェクトも精力的に行われた. このプロジェクトでは被験者の治療前と治療後の血液から採られたアレイデータが得られている. この情報を使って個人化医療に向けた治療効果予測のための予測キットの構築が検討された.

### 2-2. 今年度の研究目標

SNP ゲノム網羅データのゲノム関連解析については前年度の反省を踏まえて, 新たに国立循環器センターから提供される SNP データとアスピリンの薬剤感受性との関連解析を開始したい. 臨床データのより注意深い検討とアウトカムについて臨床医師との密接な意見交換が必要である.

国立センターがんセンターとの共同研究においても前年度得られた遺伝子関連解析の結果をより強い信頼性の高い結果に導くために新たな遺伝子発現データが 6 月期に得られる予定である. 乳がんの治療薬の治療効果予測のための予測キットの実用化に向けて精力的な検討をしたい.

今年度から新たに九州大学と三菱化学との共同研究を計画を模索したい。現時点では研究計画は確定されていないが幾つかの計画案は検討を開始されている。

### 2-3. 研究推進の考え方

SNP ゲノム網羅データのゲノム関連解析については国立循環器センターの宮田グループ（アスピリン抵抗の情報）と国立がんセンターの坂本グループ（SNP タイピング）との密接な情報交換が重要なポイントに成る。遺伝子関連解析については国立センターがんセンターの田村グループ（臨床）と小泉グループ（マイクロアレイ）との密接な会合を計画して研究を推進したい。

### 2-4. 期待される効果等

個人化医療に向けて個人の遺伝子情報から実際の治療の前に治療予測が実現されることが求められている。本プロジェクトのゲノム・遺伝子関連解析が成功すればこの実現に大きく寄与することが期待される。

## 3. 今年度の予算金額及びその内訳

費 目	金額	主な用途
人件費	2,000 千円	研究補助（snp と機能のデータマイニング） 研究補助（アレイのデータ解析）
物件費		
備品費	2,000 千円	パソコン, プリンター複合機
消耗品費	2,500 千円	ソフト・書籍
旅 費	2,800 千円	学会発表
謝 金	300 千円	事務
その他	40 千円	学会参加費
合 計		<u>9,640 千円</u>

< 1品もしくは1組が500万円以上の物件 >

## 4. その他

プロジェクト名 : 機能と帰納：情報化時代にめざす科学的推論の形  
サブテーマ名 : 1 予測とリスク解析

サブ・サブテーマ名：1-3 生物多様性の総合的理解を目指して

## 1. プロジェクト体制

### 研究代表者

[統計数理研究所・予測発見戦略研究センター] 足立 淳

### 共同研究者

[統計数理研究所 予測発見戦略研究センター] 曹 纓、佐々木 剛

[京都大学 霊長類研究所] 松井 淳

[筑波大学 生物科学系] 橋本 哲男

[東京工業大学 生命理工学研究科] 岡田 典弘、西原 秀典

[東京工業大学 情報理工学研究科] 下平 英寿

[Fudan University, China] 長谷川 政美、米澤 隆弘

## 2. 今年度の研究計画

### 2-1. 前年度の研究成果

分子進化のモデリングと分子系統樹推定法の開発を進めた。具体的な生物学上の問題としては、長い間大陸から隔離され、独自の生物相を進化させたマダガスカルにおける両生類、テンレック類、原猿類の多様化を系統進化の観点からとらえる研究を進めた。また、哺乳類の進化多様性の研究を継続した。

近年のゲノムプロジェクトの急速な進行とともに、全ゲノム規模のデータを用いた系統樹推定がおこなわれ始めた。配列データ量の増加が系統解析に有用ではあるが、もし系統樹推定の際に仮定する進化モデルに偏りがあった場合、誤った結論を導いてしまうことがある。大量の遺伝子配列を結合させた解析 (Concatenate model) ではおそらく誤りであろう系統仮説を強く支持したが、遺伝子ごとに異なる進化モデルを仮定した場合 (Separate model) はその系統樹推定の偏りが激減するという極端な例を発見した。2,789 個の遺伝子配列を用い、真獣類の初期進化、すなわちアフリカ獣類、貧齒類、北方獣類の間の系統関係に関して最尤法を用いた解析をおこなった。その結果、従来の一般的な解析方法である塩基配列の Concatenate model ではアフリカ獣類と貧齒類の単系統性が 100% の BP 値を伴って支持されたが、遺伝子間で異なる進化速度・進化パターンを仮定する Separate model ではその仮説がほとんど支持されなかった。この結果から、遺伝子配列データが膨大であっても全配列に対して同一の進化モデルを仮定してしまうと誤った結論を導くことになってしまうことがあり、それを避けるためには進化速度・進化パターンが遺伝子ごとに異なることを仮定する Separate model を適用すべきであることが示され

た。

## 2-2. 今年度の研究目標

生物多様性を理解するためには、多様な生物の系統関係を正しくとらえることが必要である。しかしながら個々の生物の遺伝情報は進化の過程で様々な偏りが生じていることが最近になって分かってきている。そのような偏りに対処し補正できる塩基、アミノ酸やコドンの新しい置換モデルとより効率的な系統樹探索法を新たに開発する。

また、ゲノムの大量データから系統樹推定を行う際には、サンプリング誤差は限りなく小さくなるが、逆に推定の偏りに伴う誤差が顕著になることが分かってきた。ゲノムデータの解析を通じて真獣類の初期進化における系統関係を明らかにするために、系統樹推定の偏りを少なくするためのさまざまなモデル化を試みたい。

## 2-3. 研究推進の考え方

研究代表者の足立は新しい進化モデルと系統樹探索法を考案し、共同研究者の曹纓が実際の生物の遺伝情報を解析・検証しながら、よりよい方法を開発していく。佐々木は哺乳類の進化多様性の解析を行い、松井は霊長類の進化多様性の解析を行う。

## 2-4. 期待される効果等

ポストゲノム時代に即した分子系統樹推定法の考案とそのソフトウェアの開発。  
哺乳類の進化多様性についての新しい知見。

## 3. 今年度の予算金額及びその内訳

費 目	金額	主な用途
人件費	3,000	ポスドクの雇用
物件費		
備品費	1,000	ワークステーション、RAID型NAS
消耗品費	500	
旅 費	800	調査旅費、学会発表旅費
謝 金	400	データの入力・整理のためのアルバイト雇用
その他	300	ソフトウェア開発ツール
合 計		6,000 千円

< 1品もしくは1組が500万円以上の物件 > なし

## 4. その他

プロジェクト名 : 機能と帰納: 情報化時代にめざす科学的推論の形  
サブテーマ名 : 1 予測とリスク解析

サブ・サブテーマ名: 1-4 リスク評価のための帰納推論と機能的統計解析のデザイン

## 1. プロジェクト体制

### 研究代表者

[統計数理研究所] 椿広計

### 共同研究者

[統計数理研究所] 藤田利治、吉本敦、柏木宣久、金藤浩司、松井茂之、川崎能典、  
佐藤整尚、山下智志、志村隆彰、河村敏彦、逸見昌之、安藤雅和、  
植木優夫、藤井孝之

[東京大学] 国友直人、山本和夫

[京都大学] 佐藤俊哉

[岡山大学] 小野芳朗

[鹿児島大学] 高梨啓和、青木敏

[(社)国際環境研究協会] 松本幸雄

[東京医療保健大学] 比江島欣慎

## 2. 今年度の研究計画

### 2-1. 前年度の研究成果

英国ヘリオット・ワット大から Alexander McNeil 教授を招聘し、定量的リスク解析に関する連続講義と国際研究集会を実施。債務担保証券のリスク分析に関する研究、VaR などのリスク尺度の統計的推定法に関する研究を行った。温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT から二酸化炭素およびメタンのカラム濃度導出精度を評価するとともに、「生態系のリスク管理と適応に向けた統計分析とその現状」と題するシンポジウムを開催。製品・サービスの質保証と信頼性に関する研究グループを立ち上げた。日本製薬工業会医薬品評価委員会と共同で種々の安全性データベース構築および活用に向けての検討を行なうとともに、降圧薬や経口抗菌薬などの使用成績調査データベース構築とその活用を進め、市販前の臨床試験の降圧薬のデータベースを作成した。

### 2-2. 今年度の研究目標

金融・保険リスク研究グループでは、死亡率の推定と生保リスク、極値理論の損保リスクへの応用等の問題に取り組む。中小企業信用リスク情報データベースへのアクセスを確保し信用リスク推定に関するプロジェクトを開始する。また、債務担保証券のリスク分析に関する研究を本格化する。環境リスク研究グループは、化学物質のリスクベネフィット分析に関する統計的手法について研究を進めるとともに、本年度に引き続き ISM シンポジ

ウムを開催する。医薬品・食品リスク研究グループでは、日本製薬工業会医薬品評価委員会と共同で種々の安全性データベース構築および活用をはかるとともに、薬効群ごとに市販前の臨床試験や使用成績調査などの市販後の調査のデータベースを順次構築して医薬品の安全性評価についての研究を進める。更に、一般的な製品・サービスのリスク評価方法にこれまでの研究成果を展開する。

### 2-3. 研究推進の考え方

H17年度に設立したリスク研究ネットワークを利用し、リスク推論様式の情報共有に基づく学際的帰納推論の定式化を推進している。リスク解析の分野横断的な側面を強調し、俯瞰的にプロジェクト型研究を担える特に統計科学での人材養成を目指し、融合プロジェクト研究員や若手研究者を中心に、プロジェクト研究を継続的に推進している。

### 2-4. 期待される効果等

重点3分野でプロジェクト研究を推進することにより、問題解決のみならず、新たな研究者の養成、分野横断的研究者ネットワークの構築・拡大が期待できる。医薬品および食品の安全性評価への貢献、環境モニタリング・環境リスク評価法や金融・保険におけるリスク評価への貢献が期待される。各課題において、主たる研究協力者を他機関から客員として招聘し、シンポジウム、チュートリアルセミナー等を開催することで、徐々に、重点3分野を超えた人的ネットワーク（参加・協賛機関）が拡大することが期待される。

## 3. 今年度の予算金額及びその内訳

費目	金額	主な用途
人件費	12,000	PD 研究員 (30 時間雇用) 3 名、技術補佐員 2 名
物件費	7,360	
備品費	800	研究員用什器
消耗品費	2,100	データ購入、PC、書籍費等
旅費	1,800	国内・海外での研究発表、学会参加、招聘旅費
謝金	160	講演謝金、事務補助謝金
その他	2,500	データベース端末契約
合計		19,360 千円

< 1 品もしくは 1 組が 500 万円以上の物件 >

## 4. その他

- ・ 椿広計教授が平成 20 年度工業標準化事業表彰経済産業大臣表彰を受賞  
<http://www.ism.ac.jp/news/2008/tsubaki/index.html>
- ・ 逸見昌之助教が 2008 年度日本計量生物学会奨励賞を受賞

[http://wwwsoc.nii.ac.jp/jbs/gakkaisyo\\_2008.pdf](http://wwwsoc.nii.ac.jp/jbs/gakkaisyo_2008.pdf)

プロジェクト名 : 機能と帰納: 情報化時代にめざす科学的推論の形  
サブテーマ名 : 2 情報・通信“メタウェア”とその応用

サブ・サブテーマ名: 2-1 計算機による帰納的モデリングのための環境

## 1. プロジェクト体制

研究代表者

[統計数理研究所] 中野純司

共同研究者

[統計数理研究所] 田村義保、佐藤整尚、染谷博司

[国立情報学研究所] 三浦謙一、速水 謙

[国立極地研究所] 岡田雅樹

[国立遺伝学研究所] 五條堀孝、菅原秀明、池尾一穂

## 2. 今年度の研究計画

### 2-1. 前年度の研究成果

統計解析言語は、統計解析手法および種々の分野におけるモデリングのための記述手段となる。その記述の細部まで考えると明らかに”ソフトウェア”であるが、最近の統計解析言語は、その細部をできるだけ隠蔽するように記述することができ、その場合、高レベルな部分は”プログラムの基本的な考え方を示す”という意味の”メタウェア”と考えられる。本サブサブテーマでは、そのような統計解析言語の、最近の科学および計算機環境の中でのその必要かつあるべき姿を考察し、実装することを目的としてきた。主として完成度が高く広い分野ですでに利用されている統計解析言語 R を扱い、現在の計算機環境で重要になっている、並列計算、疑似および物理乱数、シミュレーション、Web インタフェース、(データ) ビジュアライゼーション、バイオインフォマティクスでの利用などの観点から環境の整備を行った。また、R とは異なる新しい統計解析システム Jasp、それに関連するデータビジュアライゼーション用ライブラリ Jasplot も開発した。これらに関して前年度に行ったのは、以下である。

R に関して:

- ・フリーソフトウェアを用いた Web インタフェースの改良とより高度なセキュリティ機能の実現
- ・大規模データのための Huge TLB の実装の拡充
- ・R のグリッド化のための基礎的なシステム (NAREGI ミドルウェア) を利用できる計算機の構築 Jasp および Jasplot に関して:
- ・フリーソフトウェアとなった統計解析システム XploRe プログラムの Jasp からの利用
- ・Jasplot のさらなる改良 (ネットワーク機能、複数セクタなど)

- ・データベース・データマイニングにおける OLAP(Online Analytical Processing)手法の新しいグラフィックスへの応用の考察

## 2-2. 今年度の研究目標

R のグリッド化を完成する。グリッドのミドルウェアとしては、情報研で三浦が中心に研究を進めている NAREGI プロジェクトの成果を利用する。昨年度に NAREGI ミドルウェアを統計数理研でも利用できるようにしたので、その上で、現在の並列化 R で NAREGI MPI を利用できるようなにする。そして、統計数理研、極地研のスーパーコンピュータ、情報研の NAREGI 技術、遺伝研の日本 DNA データバンク (DDBJ) をネットワーク的に結んで科学研究に有用な計算機環境を作成する。

また、Jasp の研究を進め、より実用的なシステムにする。特に XploRe の豊富なプログラム資産を Jasp からより多く利用できるようにし、機能を飛躍的に増やしたい。Jasplot の OLAP 機能利用は、ユーザインタフェースの進化はもちろん、統計データの整理にも新しい観点をもたらすことができると期待される。

## 2-3. 研究推進の考え方

本研究では、計算機は単に計算のための巨大電卓ではなく、科学の記述形式のひとつになっていると認識する。すなわち計算機を用いたモデリングは、伝統的な科学研究における、自然言語を用いた記述と数式を用いた記述の中間に位置する、第 3 の記述形式であると考え。さらに、もうひとつの計算機の大切な機能として、帰納的推論に欠かせない多量の事実 (=データ) の収集と保管ができることを重要視し、World wide web 技術はその機能を強化したことに着目する。そして、計算能力があればあるほど、多くの自然現象に対する有用なモデリングが可能であるという事実を考慮し、機構内の各研究所が有するスーパーコンピュータ、乱数、並列化、ネットワーク、グリッド、統計解析環境などの技術を真に有用な方向に発展させることを目標としている。

この目的を達成するために、統計解析環境 R をコアにおいた。そして科学のいろいろな分野、とくに遺伝学、極地科学、において、スーパーコンピュータを用いて容易に強力な分析ができるような環境を提供する。さらに、同じ目的ではあるが、近年の計算機環境をより有効に利用するための新しい統計解析環境 Jasp も提供する。

## 2-4. 期待される効果等

R は各分野でデータ解析およびモデル記述のために利用されている。そして、現在のスーパーコンピュータ技術は、近い将来のパーソナルコンピュータでも利用されることになる。したがって、本研究の成果は、あらゆる分野と将来の科学技術用計算機環境のパイロットシステムとなると考える。

また、すべてのソフトウェアはその設計当時の計算機技術の制約を受けざるを得ないの

で、R がいかによくできており、現在は不満がないとしても、未来もそうであるとは限らない。そのため、新しいソフトウェアの萌芽を用意しておくことが重要であり、Jasp はそのための研究である。

3. 今年度の予算金額及びその内訳

費 目	金額	主な使途
人件費	8 0 0 0 千円	ソフトウェア開発委託費
	1 0 0 0 千円	研究支援員経費
物件費		
備品費	2 0 0 0 千円	グリッド用高性能小型計算機
消耗品費	1 0 0 0 千円	計算機消耗品
旅 費	1 5 0 0 千円	スーパーコンピュータコンファランス用旅費
	3 0 0 0 千円	その他の旅費
謝 金	1 0 0 0 千円	外国人招聘費用
その他	5 0 0 千円	資料整理など
	3 0 0 0 千円	スーパーコンピュータコンファランス展示関係 費（ブース開設費、運送費など）
合 計		<u>2 1 0 0 0 千円</u>

< 1 品もしくは 1 組が 5 0 0 万円以上の物件 >

4. その他

プロジェクト名 : 機能と帰納: 情報化時代にめざす科学的推論の形  
サブテーマ名 : 2 情報・通信 “メタウェア” とその応用

サブ・サブテーマ名: 2-2 マルチモーダルデータからの不変情報の発見とその方法論の  
研究

## 1. プロジェクト体制

研究代表者

〔統計数理研究所〕 松井知子

共同研究者

〔統計数理研究所〕 福水健次

〔国立情報学研究所〕 佐藤真一、古山宣洋、井上雅史

〔早稲田大学〕 田邊國士

〔京都教育大学〕 花田里欧子

〔和歌山大学〕 入野俊夫

## 2. 今年度の研究計画

### 2-1. 前年度の研究成果

本サブテーマでは次の三つを研究の柱としている。

- ① いくつかの具体的な課題における帰納的アプローチによるマルチモーダルデータの不変情報の発見、ならびに帰納的アプローチの有効性の実証
- ② 帰納的メタウェアの提供
- ③ 分野横断的な帰納的手法の体系化

前年度の知見・成果物としての研究成果を①～③の柱ごとに示す。

#### ①について:

映像データからの不変情報の学習検索の課題において、映像索引付け・検索に関する国際的な競争型評価プロジェクト TRECVID に参加し、大域的特徴量やセグメント特徴量を利用した学習機械による帰納的アプローチを用いれば、世界各国の TRECVID 参加チームの中でも遜色のない性能が達成できることを客観的に示した。また、大局的特徴量を利用したアプローチでは、学習対象の映像の種類（ニュース／ドキュメンタリーの放送内容の種別、米国／オランダの放送元の種別など）にあまり依存しない一般性の高い学習が可能であることがわかり、特徴量の不変性に対する重要な知見が得られた。

対話における言語・身体動作データからの不変情報の抽出と活用の課題では、データから帰納的に、カウンセリングにおけるセラピストの発話の規則性を見出した。具体的には、セラピストの発話内に見られる規則性を、発話種別の連鎖という観点から分析し、その傾向をセラピストの対話戦略として理解するための枠組みを得た。特に、発話を身振りと共に起るか否かに

よって分類し、それぞれの群について発話種別の遷移を視覚化すると、身振りを考慮しない場合と比較して、発話連鎖規則がより明瞭になることが分かり、マルチモーダルな分析の有意性が示唆された。

②について：

帰納的学習機械に関するソフトウェアとして、walk-based walk kernel、graph matching のプログラム整備を行った。これらのソフトウェアは一般公開する予定である。

③について：

帰納的学習機械の利用に関する分野横断的なノウハウの報告書「Invariance in Multimodal Data: A Kernel Method Approach」の修正版を作成した。

前年度は上記の知見・成果物に関連して、学术论文 1 件、会議録 6 件、研究ノート 2 件、招待講演 1 件、一般公演 6 件、著書 2 件、その他 1 件の計 19 件の成果発表を行った。

## 2-2. 今年度の研究目標

今年度は、いくつかの具体的な課題の検討を通して得られた知見に基づき、分野横断的な帰納的手法の体系化をさらに進め、報告書の形にまとめる。また、A) 映像データからの不変情報の学習検索、B) 対話における言語・身体動作データからの不変情報の抽出と活用の課題に関して、次の目標を達成する。

A) について：

大局的特徴量ならびにセグメント特徴量を利用したアプローチに加え、局所特徴量に基づく手法、ならびにこれらを融合したアプローチの有効性を明らかにする。

B) について：

対話データから帰納的に、次の四つを明らかにする。

1. セラピストの経験の差や流派の差などから見出されるインタラクションパターンの差
2. 対話のインタラクションのステージ分割
3. コンプリメントの成功不成功と言葉の使用の関連
4. 発話と身振りから意図理解の失敗予測に寄与する要因

## 2-3. 研究推進の考え方

分野横断的な帰納的手法の体系化については、共同研究者を核とした討論会を定期的に行い、意見をまとめていく。課題 A) については、視覚情報の意味解析により適した不変特徴量の検討、異なる種類の特徴量による達成しうる不変性の違いの解明、性能のより高い帰納学習アルゴリズムの検討を行っていく。課題 B) については、データ作成を継続して行い、統計的機械学習によるデータからの帰納的なモデル獲得を中心とした分析に軸足を移す。また、これまでは線形予測モデルや出現頻度比等の素朴な規則を考えていたが、より高度な手法を導入し、複雑な規則の発見へのステップアップをはかる。

2-4. 期待される効果等

分野横断的な帰納的手法の体系化に関する報告書については、帰納的手法のノウハウをまとめた実用資料として、多くの研究者に役立つことが期待できる。課題 A)については、より精度の高いマルチメディア意味解析手法の開発が期待できる。また、これを通して、汎化性能のより高い意味解析手法へのアプローチ、現状の技術水準で実現可能なマルチメディア意味解析の性能レベルの確認等が可能と考える。課題 B)では、応用面ではカウンセリング対話についての理解が深まり、臨床心理学分野での実践・教育の進歩への貢献、実証的研究の基盤形成の役割が期待できる。また、方法論の点では、帰納的学習のマルチモーダルなインタラクション理解というドメインでの有用性を評価することが可能となる。さらに、帰納的学習が実社会での実践と結びついた知見の提供に役立つことを示すことができると考える。

3. 今年度の予算金額及びその内訳

費 目	金額	主な用途
人件費	7,000 千円	プロジェクト研究員の短期雇用 (12 人月分)
物件費		
備品費	500 千円	資料作成のための PC 等
消耗品費	500 千円	記録媒体、プリンタインク等
旅 費	3,900 千円	打合せのための国内出張、国際会議出張
謝 金	520 千円	データ作成補助、講演謝金
その他	2,880 千円	計算機運用管理サービス (IMG 社)
	5,000 千円未満	TRECVID 実験補助 (ピコラボ社) (実験結果報告書)
合 計		<u>20,300 千円</u>

< 1 品もしくは 1 組が 500 万円以上の物件 >

4. その他

プロジェクト名 : 機能と帰納: 情報化時代にめざす科学的推論の形  
サブテーマ名 : 2 情報・通信 “メタウェア” とその応用

サブ・サブテーマ名: 2-3 モデル化と高効率データ処理に基づく  
無線データシステムの研究

## 1. プロジェクト体制

研究代表者

[統計数理研究所・モデリング研究系] 瀧澤 由美

共同研究者

[統計数理研究所・モデリング研究系] 深澤 敦司

[統計数理研究所・モデリング研究系] 石黒 真木夫

[統計数理研究所・データ科学研究系] 佐藤 整尚

[国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系] 松方 純

[北海道大学大学院・情報科学研究科] 宮永 喜一

## 2. 今年度の研究計画

### 2-1. 前年度の研究成果

情報・通信システムの信頼性の向上, 極小消費電力の実現について、“同期”を着目し研究を行ってきた。同期信号をパルス符号, 伝送データを高精細静止および動画像とした。方式研究はアルゴリズムの創出とその実証よりなり、Implementation では従来の演算処理から「アナログ演算処理」に転換した。

本研究は(1)アナログ演算方式に対応したニューロンMOSによるマッチドフィルタの実現を主とし, かつ(2)コンピュータ処理に対応した組み込みシステムによる Implementation の2つのアプローチによって進めてきた。

前年度までの研究では、数値制度(語長), 応答速度の限界内で有線伝送と同等の画質(動画, 静止画)電力(従来の1/32~1/16)の系を実現し, 所内および産官学, 学会等で報告した。

### 2-2. 今年度の研究目標

本研究は上記研究成果を達成し、デモンストレーション、学会発表等を通し実証的に示してきた。第4年度までにほぼ目標を達成したといえるが、近未来データの一層の高速化に対して、方向の転換が要請されている。アルゴリズム実現の半導体素子(Neuron MOS)の速度の壁を乗り越える具体案を以下の2点に帰着させた。

#### (i) 演算処理

プロセッサ(コンピュータ)の専用化(Embedded System)による高品質, リアルタイム, 低電力の実現。

(ii) 生体システム（神経回路網）の仕組みの解明と利用

実現性は高いが激しい競争化で最先端位置確保の困難な(i)を断念し、神経細胞システムのメカニズムを取り入れ、この地盤に立ち、理工学ベースのシステムの実現を目指すこととした。

最終年度では神経細胞システムに基づいた時空間データ処理の方法について研究を行う。

2-3. 研究推進の考え方

本研究は生体システムおよび組み込みシステムの2つのアプローチを整理し、生体システムによる実現をめざす。また、命題を従来の“同期”の研究の本質に立ち返り、時間空間データの解析とすることで、機能と帰納のコンセプトへ帰着した。

生命誕生の初期より、細胞（以下セル）はイオン輸送、膜電位の生成と利用等を通じた進化の過程で神経細胞（以下ニューロン）が出現し、さらに機能の分化、組織（網）化を経て神経節、脳の形成に至ったと見られる。ニューロンのセル（NC）、また網として有効なモデル化は研究の成否を決めるものである。

2-4. 期待される効果等

本研究は、時間・空間系列の新しいデータ処理法の創出と、そのための生物型情報処理システムの実現を目指すもので、科学的推論の新しいアプローチを提案するものである。

さらに、本研究で期待される成果は単に時間空間のデータ処理に限らない。デジタル処理に必須の AD/DA 変換、情報・通信における符号化を含む画像処理等、多様な適用分野の開拓が期待される。

3. 今年度の予算金額及びその内訳

費 目	金額	主な用途
人件費	9000	
	7200	専門知識の提供
	1200	研究補助
	600	研究協力謝金
物件費	14,000	
備品費	1,500	実験モニタ用 PC、他
消耗品費	2,900	ニューラルネットワークシミュレーションソフト開発
	2,450	双曲線法による時刻・位置推定ソフト開発
	2,700	多次元アナログデータ処理ハード開発
	1,750	電子部品費
旅 費	1,500	海外出張旅費

謝 金	700	国内出張旅費
その他	200	講演、技術指導
	300	学会参加費、他
合 計		23,000 千円

< 1 品もしくは 1 組が 5 0 0 万円以上の物件 >

なし

4. その他

プロジェクト名 : 機能と帰納: 情報化時代にめざす科学的推論の形  
サブテーマ名 : 3 ダイナミック逆問題

サブ・サブテーマ名: 3-1 統計的モデルに基づく地球科学における逆問題解析手法

## 1. プロジェクト体制

研究代表者

[国立極地研究所] 門倉昭

共同研究者

[国立極地研究所] 麻生武彦、佐藤夏雄、山岸久雄、宮岡宏、岡田雅樹、小川泰信

[統数数理研究所] 樋口知之、上野玄太、中野慎也

[国立情報学研究所] 北本朝展、児玉和也、佐藤真一、孟洋

[早稲田大学] 田邊國士

[融合センター] 田中良昌、才田聡子

[名古屋大学] 野澤悟徳、藤井良一、海老原祐輔

[立教大学] 田口真

[トロムソ大 (ノルウェー)] Bjorn Gustavsson, A. Brekke, C. La Hoz

[スウェーデン宇宙物理研究所] Urban Braendstroem, Ingrid Sandahl, Tima Sergienko

## 2. 今年度の研究計画

### 2-1. 前年度の研究成果

#### (1) 磁気圏物理学分野のデータ同化の研究

IMAGE 衛星で観測された高エネルギー中性粒子 (ENA) のデータを、磁気圏環電流 (リングカレント) のシミュレーションモデルに同化し、磁気嵐時のリングカレントの空間構造・時間変化の現実的なモデリングを行うためのプログラムを新たに開発することを目的としている。これまで、磁気圏内の電場ポテンシャル、イオン密度及び温度を未知変数としたデータ同化を行い、それらの未知変数の時間空間変化を推定出来るような段階まで進んでおり、その成果について国内外の学会・研究会で発表した。また、IMAGE 衛星が運用を停止した 2005 年以降の磁気嵐イベントも解析できるようにするため、直接観測で得られるプラズマ粒子データなどの他の観測データを同化する手法の開発も進めている。前年度は、10 点程度の仮想的な人工衛星で粒子観測を得た場合に、プラズマ粒子分布の時間・空間変化をどの程度うまく推定できるのか、実験的に検討を行った。

#### (2) オーロラの南北共役性の定量的評価の研究

非常に良い共役性がみられた 2003 年 9 月 26 日のイベントについて、共役点の移動、脈動オーロラの共役性、それぞれに着目した研究を進め、GRL に論文 2 編を投稿し掲載され

た。解析対象となるデータを取得するため、毎年 9 月または 3 月の時期にアイスランドにて共役点観測を実施し、新たなデータを取得した。また、前年度より新たにプロジェクト研究員 1 名を雇用し、惑星間空間磁場 (IMF) の変動が共役点位置の変動に及ぼす影響を定量的に理解するため、グローバル MHD シミュレーションと育成融合プロジェクトで開発された「バーチャルオーロラ」装置を用いた解析を進めている。これまで IMF の東西成分が共役点位置の経度方向へのずれに及ぼす影響について調べ、経度方向のずれが、IMF の南北成分が南向きになってから約 50 分後より急激に加速されることなど、従来の実観測や統計的モデルでは得られない新たな結果が得られた。また、昭和基地周辺の磁力計ネットワーク観測データと、共役点のアイスランドにおける磁場観測データを用いて、地磁気脈動現象に注目したスペクトル解析を行い、共役点間を結ぶ磁力線の共鳴振動数、その磁力線上にある磁気圏プラズマの密度を導出する手法を確立し、その結果を国際誌に発表した。

### (3) オーロラのとモグラフィ解析

オーララとモグラフィ解析手法による、オーララの 3 次元立体構造の再構成解析、及びその時間発展解析を、ALIS 地上多点キャンペーン観測データを用いて進めた。また、オーララ画像に加え他の関連観測データ (EISCAT レーダー電子密度データ、イメージングリオメータ (IRIO) データ、れいめい衛星データ、など) も用いることにより、発光構造のみならず、そうした構造をもたらすオーララ降下電子のエネルギースペクトル解析も可能とする、新たな一般化オーララとモグラフィ解析アルゴリズムの開発を進めた。EISCAT データのみを加えたアルゴリズムの構築は終了し、再構成の信頼性などのテストを行い、その成果を学術論文に執筆中である。さらに、IRIO データを加えたアルゴリズムの構築、異なるオーララ発光輝線データを用いたときのアルゴリズムの作成、などを進めている。また、解析対象となるデータを取得するため、ALIS-れいめい衛星-EISCAT 同時観測キャンペーンを 2005 年冬期以降、現在も継続して計画・実施してきている。

### (4) 非干渉散乱レーダーおよび光学観測インバージョンによる磁気圏電離圏複合系の研究：

2008 年 10-11 月の EISCAT レーダー-光学同時観測時に得られたデータを用いて、EISCAT レーダーの散乱エコースペクトルから、電離圏電子密度及び電場を高時間・高空間分解能で求める解析手法を開発した。また、高時間分解能の解析ソフトウェアの開発を進めるため、データ解析・ソフト開発環境の整備を進めた。

## 2-2. 今年度の研究目標

### (1) 磁気圏物理学分野のデータ同化の研究

IMAGE 衛星が運用を停止した 2005 年以降の磁気嵐イベントも解析できるようにするため、直接観測で得られるプラズマ粒子データなどの他の観測データを同化する手法の開発

を進めると共に、これまでの成果を国内外の研究会・シンポジウム、国際学術誌等で発表する。

(2) オーロラの南北共役性の定量的評価の研究

惑星間空間磁場 (IMF) や太陽風速度などの変動が共役点位置の変動に及ぼす影響を定量的に理解するため、グローバル MHD シミュレーションと育成融合プロジェクトで開発された「バーチャルオーロラ」装置を用いた解析を進め、その成果を国内外の研究会・シンポジウム、国際学術誌等で発表する。また、解析対象となるデータを取得するため、アイスランドにて共役点観測を実施する。

(3) オーロラのトモグラフィー解析

EISCAT データに IRIO データも加え、さらには、異なるオーロラ発光輝線データも用いた一般化オーロラトモグラフィー解析アルゴリズムの開発を行ない、これまでの成果を国内外の研究会・シンポジウム、国際学術誌等で発表する。また、解析対象となるデータを取得するため、ALIS-れいめい衛星-EISCAT 同時観測キャンペーンを計画・実施する。

(4) 非干渉散乱レーダーおよび光学観測インバージョンによる磁気圏電離圏複合系の研究

前年度までに開発・整備された、EISCAT レーダーの散乱エコースペクトルから電離圏電子密度及び電場を高時間・高空間分解能で求める解析手法を、実際のデータ解析に適用し、その有効性を実証する。

2-3. 研究推進の考え方

(1) 磁気圏物理学分野のデータ同化の研究

電場分布、プラズマシートの密度・温度の時間変化をパラメータ化し、その時間変化を記述するパラメータを高速中性原子 (ENA) やプラズマ粒子の観測と一致するように最適化することで、各パラメータの時間変化を推定する。

(2) オーロラ共役性の定量的評価の研究

育成融合プロジェクトで開発された「バーチャルオーロラ」装置を用いて、惑星間空間磁場 (IMF) や太陽風速度の変動が共役点位置の変動に及ぼす影響を定量的に理解する。

(3) オーロラのトモグラフィー解析

一般化オーロラトモグラフィーのより具体的なアルゴリズムの検討、定式化、計算機コードの開発、数値シミュレーション、実際のデータ解析、れいめい衛星搭載の粒子スペクトル観測との比較が順に進められていく必要がある。

(4) 非干渉散乱レーダーおよび光学観測インバージョンによる磁気圏電離圏複合系の研究

れいめい衛星- EISCAT レーダー特別実験を効果的に推進するため、実験計画の企画立案と現地でのレーダーオペレーションを中心的に担う。名古屋大学、統計数理研究所、トロムソ大学など共同研究者との交流、連携を一層強化する。

2-4. 期待される効果等

(1) 磁気圏物理学分野のデータ同化の研究

衛星観測では得ることのできないプラズマシートの密度の空間・時間分布をデータ同化によって得ることによって、磁気嵐に対する新しい知見を得る。

(2) オーロラ共役性の定量的評価の研究

グローバルMHDシミュレーションを用いることにより、様々な太陽風パラメータの変化に対する共役点位置の時間空間変化とそれらをもたらす物理過程を調べることが出来、太陽風と磁気圏の相互作用についての新たな知見を得ることが出来る。

(3) オーロラのトモグラフィー解析

オーロラ、夜光等の高層における発光現象につきその3次元的位置や構造を知ること、それぞれの生成の物理過程や超高層ダイナミクスの解明に欠くことができない。オーロラの3次元発光構造、さらには降り込み粒子エネルギーのスペクトルを、地上と衛星観測データの包括的な解析とくに観測におけるさまざまな誤差とモデルの不確かさを考慮に入れた統計的な解析モデルの構築を通して明らかにする本手法が確立されれば、極域科学における異種情報の統合解析手法とオーロラ電離圏エアロノミーの知見の蓄積に資するものとなる。

(4) 非干渉散乱レーダーおよび光学観測インバージョンによる磁気圏電離圏複合系の研究

高時間分解能解析の新たなアルゴリズムや解析手法を日本が開発・提供することにより、EISCAT レーダーの科学的利用価値を飛躍的に高めることに貢献できる。EISCAT レーダーとれいめい衛星や高解像度オーロライメージャなどによる同時観測から、オーロラの微細構造ダイナミクスに関してこれまで知られていない発見的知見が得られる可能性が高い。

3. 今年度の予算金額及びその内訳

費 目	金 額	主な使途
人件費	9,000	非常勤研究員雇用経費（2名）
物件費		
備品費	0	
消耗品費	500	解析用ソフトウェア
	200	データ保存用媒体
旅 費	500	ALIS-REIMEI-EISCAT キャンペーン観測旅費（1名 x 1回）
	1,000	国際学会・シンポジウム発表旅費（4名 x 1回）
謝 金	0	
その他	200	フィールド実験のための輸送費
	600	論文投稿料
合 計		12,000 千円

< 1品もしくは1組が500万円以上の物件 >

4. その他

プロジェクト名 : 機能と帰納: 情報化時代にめざす科学的推論の形  
サブテーマ名 : 3 ダイナミック逆問題

サブ・サブテーマ名: 3-2 複雑システム理解と予測のためのアレーデータの帰納的解析  
手法開発

## 1. プロジェクト体制

研究代表者

[国立極地研究所] 和田 誠

共同研究者

[国立極地研究所] 山内恭、平沢尚彦、堤雅基、富川喜弘、西村耕司、江尻全機

[統計数理研究所] 樋口知之、石黒真木夫

[国立情報学研究所] 北本朝展

[東京大学] 佐藤薫、高橋正明

[京都大学] 佐藤亨、斉藤昭則、山本衛

[琉球大学] 遊馬芳雄

[海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター] 渡辺真吾

[長岡技術科学大学] 熊倉俊郎

## 2. 今年度の研究計画

### 2-1. 前年度の研究成果

このグループでは、MST レーダ、大循環モデルなどから得られる大量のデータセットから科学現象を見つける方法、具体的にはアルゴリズムの開発や機器の調整を進めている。またモデルなどから得られる結果と実際の現象を比較してモデルの調整を行うこと、得られた科学現象についての考察、を行っている。平成 20 年度に得られたの結果を以下にまとめる。

・これまでに開発した多チャンネル大気レーダーイメージング法において問題となっていた分解能を、大気エコーを用いた位相オフセット推定法により解決し、推定像の高分解能化に成功した。これにより大規模な乱流の描像が視覚的に把握できるようになった。またアルゴリズムの高速化を行い、PC では 1 レンジゲート内鉛直断面をリアルタイム程度の計算時間とし、大規模データ処理への道筋をつけた。

・開発した多チャンネル流星観測手法を、京大 MU レーダーの一般ユーザーも利用できるように公開した。光学観測との複合観測などに使用された。また、現在の京大 MU レーダーのような大型レーダーでは等間隔となっているアンテナ配置の都合により、低仰角から到来するエコーの一部に到来方向を一意決定できない問題がある。その問題解決のために複数の送信周波数を使った観測法について検討を行った。他のレーダー (SuperDARN HF レーダー) ではあるが、2 周波を使用した流星観測について論文にまとめ掲載が決定

した。

- ・2007 年 5 月より web 上での一般公開を開始した国立極地研究所オンライン粒跡線モデル、および気象データ表示システム (<http://www.firp-nitram.nipr.ac.jp/>) の運用を継続すると共に、利用可能な客観解析データの拡充を定期的に行った。
- ・前年度前半では、静力学数値モデルで再現された氷床頂上部における降雪の鉛直分布の特徴が、実際の観測データとよく一致することを確認した。後半は、1 年間の長期間計算を実行した。その際、長時間計算を行うための境界条件の準備や、計算結果の効率的な格納、解析・作図のためのプログラム開発を行った。これらにより、長時間の計算を安定して行うための技術的な事柄はほぼ解決された。
- ・130 地点の地上気象の約 40 年間の観測データを用いて周波数スペクトル解析を行ったところ、約数日周期を境に高周波数側、低周波数側で周波数のべき乗に乗る特徴的なスペクトル特性が普遍的に存在することがわかった。そして、特に気圧スペクトルの特徴は、きれいな緯度依存性があることが見出された。

## 2-2. 今年度の研究目標

これまで各研究者が行ってきた研究課題については以下に記載する様に発展させる。

- ・大規模乱流のイメージの取得のために、更にソフトウェアの改良を行い、多量のデータ処理のためのさらなる高速化および自動化を実施する。これを用いて、これまでに観測された数百時間におよぶ多チャンネル観測データの自動処理を行い、3次元イメージのデータベースを作成する。またこの長時間データの解析を行い、乱流の統計的性質について議論を行う。
- ・多チャンネル流星観測手法の開発では、送信周波数を2周波使用する観測手法を京大 MU レーダーに応用することで、低仰角からのエコーの到来方向も一意決定できる手法を確立する。これまで以上に広い水平領域（天頂角にして、0-70 度以上）における風速の3次元的な振舞をとらえ、多チャンネル流星観測法の完成を目指す。また中間圏の重力波研究進展のために、昼夜を通した中間圏観測が可能な流星エコーによる大気観測を、発展の著しい多チャンネル観測手法を用いて、さらなる高精度化を検討し、さらに、多チャンネルに加え、従来のアナログ方式よりも極めて大きな自由度をもたらすデジタル受信方式による観測が大きな可能性を秘めており、このための各種干渉計およびイメージング観測プログラムの開発を進める。
- ・国立極地研究所オンライン粒跡線モデル、および気象データ表示システムの機能追加、および利便性の向上を図ると共に、昨年から公開されている ERA-Interim 再解析気象データを利用可能データに追加し、より多くのユーザーの利用に供する。
- ・静力学数値モデルにより、気温逆転層、カタバ風、降雪、水蒸気分布などの時間変化の特徴と観測結果との比較をまず行う。次に、格子配置や積分期間などによる影響を検討する。今後、南極氷床上における少ない観測データを検証材料として、静力学数値モ

デル内の大気境界層の温度および風場を一般の全球モデルより高精度で再現する事を目指す。

・非線形方程式に支配され、相変化や化学変化を含む複雑な大気システムの構造を帰納的に抽出し、その記述を行うとともに、その構造や、スケール間相互作用を記述するモデルを作り、複雑システムに潜むマクロな支配法則を明らかにする事を目標として、前年度のスペクトル解析をさらに進め、雲解像全球モデルを用いて、スペクトル解析を行い、地上気象観測データに見られたスペクトルの形の全球分布を調べる。

### 2-3. 研究推進の考え方

最終年度であるので、現象抽出のための新しいアルゴリズムおよびモデルのチューニングを通して得られた手法などをまとめる。数値モデルを利用した研究を今後継続するための、技術的、学術的なドキュメントの整備を行う。更にこれまで抽出された現象の考察から得られた科学的成果をまとめる。これらの成果をもとに論文作成、学会等の発表を行う。また近年、客観解析や衛星観測で得られる各種物理量の全球データの無償提供が一般的になりつつある。これらのデータの高度な処理・解析機能をオンライン上で提供することが求められている現状を考慮し、国立極地研究所粒跡線モデルおよび気象データ表示システムは今後も機能やデータの拡充を進めていく。

### 2-4. 期待される効果等

これまで各研究者が行ってきた研究課題からは以下に記載する成果が期待される。またこれらの科学的成果を得るための手法は、大量データを扱う多くの研究分野で活用される可能性がある。

・実観測データから3次元イメージのデータベースを作成することにより、通常観測の難しい百メートルオーダーの小さな乱流についての直感的把握が可能となり、これまであまり議論されなかったこのスケールの乱流ダイナミクスについてより深い理解が得られる。これにより力学と物質循環あるいはエネルギー循環など、乱流の寄与の大きい部分の研究においてさらなる発展が期待される。

・MU レーダーによる多チャンネル流星観測の実用化に伴い、夜間の各種光学観測との同時観測を実施することにより、大気重力波の空間3次元構造の時間発展を従来にない高い分解能で探ることが可能となる。

・大気スペクトルの普遍的形状を明らかにすることは、今後の高精度な気候予測モデル開発において、性能評価に必要な重要な指標を与えることになる。また、階層構造を明らかにすることで、より現実的なサブグリッドスケールのパラメタリゼーション開発につなげることができる。

・南極氷床の涵養、消耗に関連する現在の水循環を明らかにし、大気環境の変化と南極氷床に関わる水循環の変化に関する考察を可能にする。

・物質輸送研究の必須ツールである粒跡線モデルをオンラインで提供することで、研究の推進に寄与する。また、気象データ表示システムは教育目的の利用も期待される。

3. 今年度の予算金額及びその内訳

費 目	金額	主な用途
人件費	5,000	有期雇用研究員 1 名
物件費	8,400	
備品費	1,800	気象データ (ERA-Interim) 用 RAID HDD (1500)、データベースおよびバックアップ用 HDD (300)
消耗品費	1,500	ラジオゾンデ (1300)、ソフトウェア (200)
旅 費	2,000	外国出張 (研究発表) 3 件 (1500)、研究集会開催旅費 (500)
謝 金	350	データバックアップ補助 (300)、研究集会補助 (50)
その他	2,750	論文出版 (1000)、研究集会報告出版 (250)、モデルチューニングのためのプログラム改修作業委託 (1500)
合 計		13,400 千円

< 1 品もしくは 1 組が 5 0 0 万円以上の物件 >

4. その他

プロジェクト名 : 機能と帰納 : 情報化時代にめざす科学的推論の形  
サブテーマ名 : 3 ダイナミック逆問題

サブ・サブテーマ名 : 3-3 統計モデルによる地震活動の研究

## 1. プロジェクト体制

研究代表者

[統計数理研究所] 尾形良彦

共同研究者

[統計数理研究所客員教授, 京都大学防災研究所] 遠田晋次

[統計数理研究所客員教授, Statistics Research Associates, New Zealand] HARTE, David

[統計数理研究所] 尾形良彦、庄建倉 (ZHUANG, Jiancang), 田中潮、桂康一

[国立極地研究所] 金尾政紀

[融合センター] 姫野哲人

[海洋開発研究機構] 坪井誠司、田中聡

[金沢大学] 平松良浩

[早稲田大学] 岩田貴樹

[東京大学地震研究所] 鶴岡弘, 石辺岳男, 楠城一嘉

[Massachusetts Institute of Technology] LLENOS, Andrea

[Statistics Research Associates, New Zealand] VERE-JONES, David

[Woods Hole Oceanographic Institute] McGUIRE, Jeffrey J.

[GFZ German Research Centre for Geosciences] HAINZL, Sebastian

[National Research Council - Institute of Applied Mathematics and Information  
Technology (CNR-IMATI)] VARINI, Elisa

[National Geophysical Research Institute] BANSAL, Abhey Ram

[UCLA] SCHOENBERG, Frederic Paik

[University of Palermo] ADELFIIO, Giada

[産業技術総合研究所 地質調査情報センター] 村田泰章

## 2. 今年度の研究計画

### 2-1. 前年度の研究成果

時空間的に広域の地震活動をリアルタイムでモニターするために広域の地震活動を一挙に計測できる時・空間 E T A S モデルの大規模ベイズモデルによる実用化を進めた。一部のプログラムを公開にむけた実質的な前進があった。地震の検出率が高い内陸部、低い沖合海域および過去現在の検出の時間変化を捉える検出率の時空間分布をベイズモデルで推定し、地震活動の欠測率モデルを考える土台が出来た。空間統計に関するネイマン・

スコット型の多種類の集中点過程モデルの推定とモデル比較の実用化を図った。

国際地震センター（ISC）にコンパイルされた震源データを用いて、1980 年以降の南極プレート及び周辺域の地震活動の時空間分布を、統計学的 ETAS モデルを用いて解析した。特に、1998 年バレー諸島の大地震周辺について詳細に解析し、南大洋-インド用区の広域応力場・プレート運動、並びに氷床後退による地殻のリバウンド現象について考察した。余震の影響を取り除いた常時地震活動の発生確率は、バレー地震発生後に格段に上昇したことが説明できた。バレー地震の発生が、周辺域の地下断層系の応力場に影響を与えた可能性が十分に考えられる。

## 2-2. 今年度の研究目標

地震活動予測のためのメカニズムを定量的に明らかにするために必要な様々な統計モデルを開発することを目標とする。(1) 伊豆半島・諸島などのように火山活動とテクトニックな地震活動が混在するような局所的な地域での異なったストレス変化を分離できる時変 ETAS モデルを完成させ、ゆっくりすべりの検出にも役立たせることを目指す。(2) 時空間的に広域の地震活動をリアルタイムでモニターするために広域の地震活動を一挙に計測できる時・空間 ETAS モデルの大規模ベイズモデルによる実用化を進め、大方のプログラムを公開する。(3) 地震の検出率を考慮に入れた時・空間 ETAS 大規模ベイズモデルの開発を進める。

南極プレート周辺域での地震活動の地域差について主に考察するため、モデルパラメータを位置に依存する関数とみなす「階層的時空間 ETAS モデル」を広域に適用する。南極周辺域では、日本列島と比較して地震発生数が相対的に少ない。そこで、データ欠測率もモデルに含める、等モデルの一部改良を検討している。様々なモデル比較により、南極周辺の広範囲の分析に最適な方法を見出すことが必要である。

## 2-3. 研究推進の考え方

プログラム公開についてのソフトウェア・マニュアル作成については一貫して着実に研究開発を進める。しかし大地震が発生したとき、または地震調査委員会や地震予知連で注目されるような現象があれば、これらに機敏に対応して、上記モデルや方法の研究と絡めて機動的にデータ解析を行い、研究を進める。また「地震予測とその検証の研究の国際協力」の一環として日本でも、東大地震研、統数研（本グループ）、防災科技研、産総研、京大防災研、気象研などが同課題で研究協力に参画する。さらに本グループは「第 3 次地震予知研究計画」の一翼として研究を推進、貢献する。

南極周辺の広範な領域を考慮する場合、場所により大きなマグニチュードの地震しか観測されない可能性もある。解析においては、地域ごとの特性の違いを限られたデータの中からうまく抽出する必要がある。階層的時空間 ETAS モデルを、地震の検知率が低い地点で使った場合、検知率の高い地点へも悪い影響を及ぼしかねないため、検知率をパラメー

タとして組み込むモデルを検討する。またモデルの選択規準として、AICやABIC、BIC、GBIC、DIC などさまざまな統計手法について比較検討する。選択規準の理論的比較は、統計学的にも有益である。

#### 2-4. 期待される効果等

ETAS モデル及びその様々な拡張モデルは今や地震活動の研究者や実務者にとって欠くことのできない研究手段となっており、その需要は世界的に高まっている。早急かつ着実にロバストなソフトウェアを公開することをめざす。結果、本グループに留まらず、世界的・全体的な流れとして、地震活動の物理的仮説メカニズムを明らかにし、不確定性に関わる有効なモデルを提案できることで、確率的地震予測の実用性を上げることが期待できる。

南極プレート周辺域の地震・氷震活動について、その時空間分布を詳細に推定することは、南極氷床とその下の地殻・マンツルの構造・ダイナミクス研究をはじめ、固体地球の表層変動に伴う南大洋の静的・動的状態、衛星高度計・ジオイドモデル・氷床の進化過程・質量収支・プレート運動・地域テクトニクス・海水準変動、さらに GRACE 等の精密重力衛星の研究成果との対応が期待される。

今年度は極地研や統数研の立川移転により、融合プロジェクトの一層密な研究連携が期待される。

#### 3. 今年度の予算金額及びその内訳

費 目	金額	主な用途
人件費	1,000	リサーチ・アシスタント（尾形 G）
	4,400	非常勤研究員雇用経費 1 名（姫野哲人）（金尾 G）
物件費		
備品費	500	PC ワークステーション（尾形 G）
	300	解析用 PC・付属品（金尾 G）
消耗品費	100	学会予稿集代（尾形 G）
旅 費	2,000	グループメンバー・ポスドクの国内外旅費（尾形 G）
	1,300	招聘旅費（尾形 G）
	500	IRIS ワークショップ（6 月）、アメリカ地球物理学会（12 月）、統計サマーセミナー・他国内旅費、共同研究者旅費（地震：金尾）（金尾 G）
謝 金	200	英文校正，講演謝金、事務補助など（尾形 G）
	300	地震波形データベース整理費、事務補助（地震：金尾）（金尾 G）
その他	2,000	プログラム開発・論文別刷，学会参加費・登録料（尾形

	100	G) 学会参加費、登録料（地震：金尾）（金尾 G）
合 計		<u>12,700 千円</u>

< 1 品もしくは 1 組が 5 0 0 万円以上の物件 >

#### 4. その他

一昨年「ETAS モデルをはじめとする各種点過程解析についてのソフトウェア」を発刊公表し、昨年の日本地震学会に引き続き、今年度はインド国立地球物理研究所に招待され、ソフトウェアの実習を開催し地震活動関係研究者・実務者の利便を図った。