

サブテーマ 1：予測と発見のためのモデリング技術とアルゴリズム開発

1-1：グラフマイニングを用いた因果ネットワーク発見

研究代表者

[統計数理研究所・大阪大学産業科学研究所] 鷲尾 隆

共同研究者

[統計数理研究所] 樋口 知之, 玉田 嘉紀, Alexandre Termier
[国立情報学研究所] 佐藤 健, 宇野 毅明
[東京大学] 井元 清哉
[大阪大学] 大原 剛三

1. 研究目標

グラフマイニングを用いて, gene ネットワークをはじめとする様々な因果ネットワーク構造の推定、発見に関するデータマイニング手法開発及びそれに基づくデータマイニング解析を行う。特に, 種々の因果ネットワーク構造候補から不変な安定したネットワーク部分と, 個別ネットワークに特徴的なネットワーク部分を, それぞれ同定する方法の開発を中心として行う。

2. 年次研究計画

平成 17 年度： 不変的部分ネットワークの検討

gene ネットワークに代表される因果ネットワークにおいて, 如何なる構造や基準に着目して不変な安定ネットワーク部分を抽出すべきかの検討を行う。そのために定量的強度付きネットワーク構造解析手法の検討, 構造情報を直接扱うことが可能なグラフマイニングや木構造マイニングによる解析手法の検討を行う。

平成 18 年度： 構造データ解析と手法拡張

前年度検討結果を受けて, 遺伝子発現データにベイジアンネットワークを適用して得た gene ネットワークデータに, グラフマイニング及び木構造マイニング手法を適用し, 導出される gene ネットワーク構造パターンの性質及び生物情報学的見地について詳細分析を行う。また, 埋め込み木構造マイニング手法を DAG(Directed Acyclic Graph)で表される因果構造ネットワークデータに適用可能なように拡張し, 同じく gene ネットワークデータに適用して詳細分析を行う。

平成 19 年度： 特徴的部分ネットワークの検討

gene ネットワークなどの因果ネットワークにおいて, 如何なる構造や基準に着目して特徴的部分ネットワーク部分を抽出すべきかの検討を行う。また, その結果を受けて, そのために必要な各種グラフマイニング手法, 木構造データマイニング手法の開発を行う。

平成 20 年度： 構造データ解析と手法拡張

前年度検討及び開発結果を受けて, gene ネットワークデータに開発したグラフマイニング及び木構造マイニング手法を適用し, 導出される gene ネットワーク構造パターンの性質及び生物情報学的見地について詳細分析を行う。

平成 21 年度： 因果ネットワーク発見手法の統合

これまでの開発及び検討結果を受けて，gene ネットワークなどの因果ネットワークデータから不変的及び特徴的な部分構造を発見する構造マイニング解析手法を体系化し，統一的な手法及びツールにまとめる．また，それをデータに適用して gene ネットワーク構造パターンの性質及び生物情報学的見地について詳細分析を行う．

3．平成 17 年度の研究進捗

(1) 研究経過

グラフマイニングを用いて，gene ネットワークをはじめとする様々な因果ネットワーク構造の推定，発見に関するデータマイニング手法開発及びそれに基づくデータマイニング解析を行った．本年度 4 月から毎月 1 回のペースで，本テーマ参加主要メンバーが統計数理研究所にて研究打合せ・検討会合を持ち，開発と解析に取り組んだ．

4 月から 6 月にかけて，gene ネットワークデータの内容検討，解析目的の設定，解析目的に照らした適切な因果ネットワーク構造の推定，発見手法の検討を行った．この結果，手法開発と解析の第一段階としては，gene ネットワークの定量的強度付き因果関係有向リンクを数値属性と見なし，部分空間クラスタリングによって主要な gene ネットワーク構造を把握する方法に焦点を当てることとした．

6 月から 8 月にかけて，東京大学医科学研究所から gene ネットワークデータを入手し，必要なデータ変換を行った．そして 9 月から 11 月にかけて，大阪大学産業科学研究所で開発した部分空間クラスタリング手法プログラム，バスケット分析プログラムを適用し，当該データから上記焦点に該当する主要な gene ネットワーク構造パターンが得られるかどうかを検証した．その結果，当該データに関しては，構造情報を直接扱うことが可能なグラフマイニングや木構造マイニングを適用する方が有意な結果が得られるとの見通しを得た．

そこで，12 月から 2 月にかけて，グラフマイニングソフト AcGM 及び木構造マイニングソフト Dryad を当該データに適用して，主要な gene ネットワーク構造パターンを得る解析を実施した．この結果，目的としていた主要構造を導出できるとの見込みを得た．更に 1 月から 3 月にかけて，グラフマイニングソフト AcGM を適用した結果について研究報告を執筆した．

(2) 研究結果

ある大きなグラフに別のより小さなグラフが部分グラフとして含まれているか否かを調べる問題は NP-完全であることが知られている．このような制約がありながらも，グラフ構造データを対象として有用な知識を効率的に発掘するグラフマイニング手法が盛んに研究されるようになっており，大阪大学では一般グラフの多頻度パターン及び相関ルールの全探索を高速に行う手法として，グラフの隣接行列表現に基づく Apriori-based Graph Mining (AGM) 手法を開発した．一方，多数の観測変数の関係をモデル化する統計的方法には，ベイジアンネットワークに代表されるようにグラフ構造を有するモデルを用いるものが多い．このような統計的モデル化手法にグラフマイニングを組み合わせることで，様々な解析ができる可能性がある．ここではその例として，マイクロアレイ遺伝子発現プロフィールデータ（以下マイクロアレイデータ）から遺伝子発

現関係をベイジアンネットワークノンパラメトリック回帰モデルで同定した結果に、更にグラフマイニングを適用して各遺伝子発現の依存関係に関する知見を得る解析を試みた。

マイクロアレイデータから得られた 5000 個のベイジアンネットワークノンパラメトリック回帰モデルにグラフマイニング AcGM 手法を適用し、頻出主要部分ネットワークを抽出した。ここでは遺伝子をそれが属する染色体によって 32 種類に分類し、如何なる種類の遺伝子の組み合わせの間にどのような依存部分ネットワークがあるかを分析した。ベイジアンネットワークノンパラメトリック回帰モデルは遺伝子間の因果関係を示す有向グラフであるが、因果の有無に比較すれば方向性に関する評価の信憑性は低い。そこで、ネットワークの各辺の方向性を無視し、無向グラフの多頻度連結誘導部分グラフを導出した。その結果、過半数以上のモデルに共通して見られる最大の頻出主要部分ネットワーク、即ち、遺伝子種類間で安定した部分ネットワークは小規模なものに限られることが分かった。また、2 ~ 3 割の回帰モデルに共通する頻出主要部分ネットワークや更に 1 割程度に共通するものも調査したが、少数遺伝子から構成される小規模なものしか存在しないことが分かった。

4 . 平成 17 年度研究成果

(1) 知見・成果物・知的財産権等

東京大学医科学研究所から入手した gene ネットワークデータに、大阪大学産業科学研究所で開発した部分空間クラスタリング手法プログラム、バスケット分析プログラムを適用した結果、構造情報を直接扱うことが可能なグラフマイニングや木構造マイニングを適用することで、有意な結果が得られるとの見通しを得た。そこで、グラフマイニングソフト AcGM 及び木構造マイニングソフト Dryad を当該データに適用して、主要な gene ネットワーク構造パターンを得る解析を実施した結果、目的としていた主要構造を導出できるとの見込みを得た。

(2) 成果発表及び著書執筆等

T. Washio, K. Nakanishi and H. Motoda:

Deriving Class Association Rules Based on Levelwise Subspace Clustering,
Proc. of PKDD2005: 9th European Conference on Principles and Practice of Knowledge
Discovery in Databases, LNAI 3721, pp.692-700 (10/2006)

T. Washio, F. Adachi and H. Motoda:

SCALETRACK: A System to Discover Dynamic Law Equations Containing Hidden States and Chaos,
Proc. of Discovery Science, 8th International Conference, DS2005, pp.253-266 (10/2006)

T. Washio, Y. Mitsunaga and H. Motoda:

Mining Quantitative Frequent Itemsets Using Adaptive Density-based Subspace Clustering,
Proc. of ICDM'05: The Fifth IEEE International Conference on Data Mining, pp.793-796
(11/2006)

A.Termier, M. Rousset, M. Sebag, K. Ohara, T. Washio and H. Motoda:
Efficient Mining of High Branching Factor Attribute Trees,
Proc. of the Fifth IEEE International Conference on Data Mining, pp.785-788 (11/2005)

鷲尾 隆:

データマイニング技術と医薬品・生理化学への適用可能性,
医薬品の安全性情報を考える, 日本製薬工業協会・統計数理研究所共催シンポジウム, 第1部予稿集, pp.95-98 (12/2006)

【参考文献】

T. Washio, K. Nakanishi and H. Motoda:
Deriving Class Association Rules Based on Levelwise Subspace Clustering,
Proc. of PKDD2005: 9th European Conference on Principles and Practice of Knowledge
Discovery in Databases, LNAI 3721, pp.692-700 (10/2006)

T. Washio, F. Adachi and H. Motoda:
SCALETRACK: A System to Discover Dynamic Law Equations Containing Hidden States and Chaos,
Proc. of Discovery Science, 8th International Conference, DS2005, pp.253-266 (10/2006)

T. Washio, Y. Mitsunaga and H. Motoda:
Mining Quantitative Frequent Itemsets Using Adaptive Density-based Subspace Clustering,
Proc. of ICDM'05: The Fifth IEEE International Conference on Data Mining, pp.793-796
(11/2006)

A.Termier, M. Rousset, M. Sebag, K. Ohara, T. Washio and H. Motoda:
Efficient Mining of High Branching Factor Attribute Trees,
Proc. of the Fifth IEEE International Conference on Data Mining, pp.785-788 (11/2005)

鷲尾 隆:

データマイニング技術と医薬品・生理化学への適用可能性,
医薬品の安全性情報を考える, 日本製薬工業協会・統計数理研究所共催シンポジウム, 第1部予稿集, pp.95-98 (12/2006)

サブテーマ 1：予測と発見のためのモデリング技術とアルゴリズム開発 1-2：統計モデルによる地震活動の研究

研究代表者

[統計数理研究所] 尾形 良彦 (予測発見戦略研究センター 地震予測研究グループ)

共同研究者

[統計数理研究所] 遠田 晋次 (産業技術総合研究所 活断層研究センター)

[産業技術総合研究所] 村田 泰章 (産業技術総合研究所 地質調査総合センター)

[統計数理研究所] 岩田 貴樹 (予測発見戦略研究センター地震予測研究グループ)

[日本学術振興会・外国人特別研究員] 庄 建倉 (Zhuang Jiancang)

[日本学術振興会・特別研究員] 楠城 一嘉

[総合研究大学院大学院生] 若浦 正嗣, 田中 潮

1. 研究目標

地殻内における破壊応力の急変と地震活動の活発化や静穏化との相関、それによる大地震発生確率の評価、地殻変動やGPSなどの測地学的データとの関わりなどの研究が急速に進んでいる。一方、地殻や断層群は不均質・非一様・フラクタル性などの極端な複雑性があり、地震活動・発震機構のパターンは場所によって異なる。それゆえ余震群の内在する地震活動と応力変化の物理学的メカニズムの研究を進めるのは難しい。しかし、各領域の地震活動に統計的計測モデルをあてはめ、マクロ的で精度の良い予測と実際の地震活動を比べ、その異常性を測ることによって、微弱な応力の変化を見ることが可能になる。たとえば地震活動の静穏化現象はE T A Sモデルを物差しにして診断解析によって見ることによって異常を感度良く検出できる。本研究では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。とくに、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大規模ベイズモデルによるアプローチを展望している。

2. 年次研究計画

平成17年度：地震活動の静穏化現象を感度良く検出する解析方法を開発し、前駆的非地震性すべりのシナリオの検討を行う。

平成18年度：地震データの不均質性をモデル化して、広域の地震活動を一挙に計測できる時・空間E T A Sモデルの一層の実用化を進める。検出率が急速に落ちる沖合海域に及び各地の地震の検出率分布を推定し、広域の微小地震活動解析を可能にするレベルまで実用化し、地殻内の応力分布や強度分布などの変化のリアルタイム監視（モニタリング）に貢献する。

平成19年度：地震活動の静穏化、活発化、前震などの異常現象と地殻内の応力分布の変化をより具体的に結びつけるため、地震発震機構（メカニズム）データのカatalogに基づく統計的モデルを目指す研究をすすめる。

平成20年度：地震活動やGPS測地データなど各種計測データに基づいて、アスペリティ周辺や断層深部すべりなどによる地殻の応力場の急変化などの定量的実証に関わるベイズ的可視化統計モデルを追及する。

平成21年度：震源カタログや各種地球物理データの時間的空間的均質化、異常値欠測値の補間、出入力モデルによる地球物理現象の各種ノイズの除去、および異種データ間の同時使用を目的とした規格化・標準化などデータの品質管理に関わる統計的研究をすすめる。

3．平成17年度の研究進捗

主要な結果の概要。各領域の地震活動に統計的計測モデルをあてはめ、マクロ的で精度の良い予測と実際の地震活動を比べ、その異常性を測ることによって、微弱な応力の変化を見ることが可能になるようなETASモデルの時空間大規模ベイズモデルによるアプローチを展望している。より小さな数多くの地震を有効に適用するために、地震の時空間的欠測のモデルと時空間モデルを結合させる方向の目途がついた。

統計科学的モデリングに関する成果：(1)大地震直後の余震の欠測は極めて甚だしいので、本震直後1日経って確率予報が気象庁から出されているのが現状であるが、今回の成果として本震直後数時間から1日以内のリアルタイム確率予測の実用化を可能となる基礎を与えた([1], Ogata, Geophys. Res. Let. in press)、(2)確率的除群法による前震の特徴について(Zhuang and Ogata, Physical Review, in press)、(3)点過程とくにETASモデルの2次「残差」についての理論的考察(Zhuang, J. Roy. Stat. Soc. B, accepted)、(4)時空間ETASモデルの改善について(Ogata and Zhuang, Tectonophysics, 2006)など。

統計地震学的な研究結果：ETASモデルによる解析によって、(1)2003年十勝沖後の余震、2004年釧路沖の地震の余震および北海道東部内陸地域の地震活動の異常の関係[6]、(2)地震福岡県西方沖地震の10年前からの九州地方とその周辺の地震活動異常と地震福岡県西方沖地震の前駆すべりとの関係[3]、(3)地震福岡県西方沖地震の余震の静穏化と最大余震の関係および博多湾におけるオフフォールト地震活動の静穏化との関係([4], [9])などを論じた。さらに(5)初期地震波による大地震発展に関するリアルタイム確率予測(Iwata et al.のGRL論文[20]がEditor's highlightとして高い評価を得た)、(6)丹波地域の微小地震活動における周期性と地球潮汐との関係(Iwata GRL出版予定)、(7)余震活動減衰の大森・宇津公式におけるスケール係数 c の意味づけに関する理論と統計的データ解析(Nanjo et al., JGR再投稿中)について研究を遂行した。

4．平成17年度研究成果

(1) 知見・成果物・知的財産権等

該当なし。

(2) 成果発表及び著書執筆等

〔論文等発表〕

- 1 . 尾形良彦, 地震検出率と b 値の同時推定と余震の確率予測, 地震予知連絡会会報, 第 73 巻, pp.666-669, 2005.
- 2 . 尾形良彦, 2003 年十勝沖地震 (M8.0) と 2004 年釧路沖の地震 (M7.1) の余震活動および北海道東部の内陸地震活動の特徴について, 地震予知連絡会会報, 第 74 巻, pp. 83-87, 2005.
- 3 . 尾形良彦, 2005 年福岡県西方沖の地震 (M7.0) 前の九州地方及び付近における中期的な地震活動の特徴について, 地震予知連絡会会報, 第 74 巻, pp. 523-528, 2005.
- 4 . 尾形良彦, 福岡県西方沖の余震活動について: 最大余震 (M5.8) 以前に報告された相対的静穏化と余震域をストレスシャドウにするような前駆すべりのシナリオ, 地震予知連絡会会報, 第 74 巻, pp. 529-535, 2005.
- 5 . 尾形良彦, 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖地震 (M7.2) の周辺部の活動と余震活動について, 地震予知連絡会会報, 第 75 巻, pp. 129-131, 2006.
- 6 . 尾形良彦, 近年の顕著な地震の余震活動について, 地震予知連絡会会報, 第 75 巻, pp. 593-597, 2006.
- 7 . 尾形良彦, 活動域における顕著な余震活動とそれまでの常時地震活動の様式との比較について, 地震予知連絡会会報, 第 75 巻, pp. 598-601, 2006.
- 8 . Hainzl, S. and Ogata, Y., Detecting fluid signals in seismicity data through statistical earthquake modeling, *J. Geophys. Res.*, Vol.110, No.B5, B05S07, doi:10.1029/2004JB003247, 2005.
- 9 . Ogata, Y., Synchronous seismicity changes in and around the northern Japan preceding the 2003 Tokachi-oki earthquake of M8.0, *Journal of Geophysical Research*, 110, B8, B08305, doi:10.1029/2004JB003323, 2005.
- 10 . Ogata, Y., Detection of anomalous seismicity as a stress change sensor, *Journal of Geophysical Research*, 110, No.B5, B05S06, doi:10.1029/2004JB003245, 2005.
- 11 . Zhuang, J., Vere-Jones, D., Guan, H., Ogata, Y. and Ma, Li, Preliminary analysis of observations on the ultra-low frequency electric field in the Beijing region, *Pure and Applied Geophysics*, 162, 1367-1396, doi:10.1007/s00024-004-2659-2, 2005.
- 12 . Zhuang, J., Chang, C., Ogata, Y. and Chen, Y., A study on the background and clustering seismicity in the Taiwan region by using point process models, *Journal of Geophysical Research*, 110, B5, B05S18, doi:10.1029/2004JB003157, 2005.
- 13 . Ogata, Y., Anomaly monitoring of aftershock sequence by a reference model: A case study of the 2005 earthquake of M7.0 at the western Fukuoka, Kyushu, Japan, *Geophysical Research Letters*, 33, L01303, doi:10.1029/2005GL024405, 2006.
- 14 . Ogata, Y. and Zhuang, J., Space-time ETAS models and an improved extension, *Special Issue on Critical Point Theory and Space-Time Pattern Formation in Precursory Seismicity*, *Tectonophysics*, eds. K. Tiampo and M. Anghel, K., 413, 13-23, 2006.
- 15 . Zhuang, J., Ogata, Y. and Vere-Jones D., Diagnostic analysis of space-time branching processes for earthquakes, *Springer Lecture Note in Statistics: Case Studies in Spatial Point Process Models*, eds. Baddeley A., Gregori P., Mateu J., Stoica R. and Stoyan D., Springer-Verlag, New York, 185, 276-292, 2005.
- 16 . Zhuang, J., Vere-Jones, D., Guan, H., Ogata, Y. and Ma, Li, Preliminary analysis of observations on the ultra-low frequency electric field in the Beijing region, *Pure and Applied Geophysics*, 162, pp. 1367-1396, 2005.
- 17 . Zhuang, J., Chang, C., Ogata, Y., Chen, Y., A study on the background and clustering seismicity in the Taiwan region by using point process models, *J. Geophys. Res.*, 110, B5, B05S18, doi:10.1029/2004JB003157, 2005.
- 18 . Ogata, Y., Discussion on "Residual analysis for spatial point processes" by Baddeley A., Turner R., Moller J. and Hazelton M., *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 67(5) 661, doi:10.1111/j.1467-9868.2005.00519.x., 2005.
- 19 . Iwata, T. and Young, P., Tidal stress/strain and the b -value of acoustic emissions at the Underground Research Laboratory, Canada, *Pure and Applied Geophysics*, 162, pp.

- 1291-1308, 2005.
- 20 . Iwata, T., M. Imoto, and S. Horiuchi, Probabilistic estimation of earthquake growth to a catastrophic one, *Geophys. Res. Let.*, **32**, L19307, 10.1029/2005GL023928, 2005.
 - 21 . Nanjo, K.Z., Nagahama, H. and Yodogawa, E., Symmetry of fault patterns: Quantitative measurement of anisotropy and entropic heterogeneity, *Mathematical Geology*, **37**, 3, pp. 277-293, doi: 10.1007/s11004-005-1559-z, 2005.
 - 22 . Nanjo, K.Z., Turcotte, D.L. and Shcherbakov, R., A model of damage mechanics for the deformation of the continental crust, *J. Geophys. Res.*, **110**, B7, B07403, DOI: 10.1029/2004JB003438, 2005.
 - 23 . Nanjo, K.Z. and Turcotte, D.L., Damage and rheology in a fiber-bundle model, *Geophys. J. Int.*, 2005, 162, pp. 859-866, doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02683.x, 2005.
 - 24 . Holliday, J.R., Nanjo, K.Z., Tiampo, K.F., Rundle, J.B. and Turcotte, D.L., Earthquake forecasting and its verification, *Nonlinear Processes in Geophysics*, **12**, pp. 965-977, doi: 1607-7946/npg/2005-12-965, 2005.
 - 25 . Toda, S., Stein, R.S., Richards-Dinger, K. and Bozkurt, S., Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer, *J. Geophys. Res.*, **110**, B05S16, doi:10.1029/2004JB003415, 2005.
 - 26 . Nanjo, K.Z., Nagahama, H. and Yodogawa, E., Symmetry of earthquake patterns: asymmetry and rotation in a disordered seismic source, *Acta Geophysica Polonica*, in press, Volume 54.
 - 27 . Nanjo, K.Z., Rundle, J.B., Holliday, J.R. and Turcotte, D.L., Pattern informatics and its application for optimal forecasting of large earthquakes in Japan, *Pure and Applied Geophysics*, accepted.
 - 28 . Chen, C.C., Rundle, J.B., Holliday, J.R., Nanjo, K.Z., Turcotte, D.L., Li, S.C. and Tiampo, K.F., The 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake as a typical example of seismic activation and quiescence, *Geophys. Res. Let.*, doi: 10.1029/2005GL023991. 2005.
 - 29 . Ogata, Y., Seismicity anomaly scenario prior to the major recurrent earthquakes off the east coast of Miyagi Prefecture, northern Japan, and its implication for the intermediate-term prediction, Special Issue on Dynamics of Seismicity Patterns and Earthquake Triggering, eds. S. Hainzl, G. Zoler and I. Main, *Tectonophysics*, in press.
 - 30 . Ogata, Y., Anomaly monitoring of aftershock sequence by a reference model: A case study of the 2005 earthquake of M7.0 at the western Fukuoka, Kyushu, Japan, *Geophys. Res. Letters*, in press.
 - 31 . Ogata, Y. and Zhuang, J., Space-time ETAS models and an improved extension, Special Issue on Critical Point Theory and Space-Time Pattern Formation in Precursory Seismicity, eds. K. Tiampo and M. Anghel, *Tectonophysics*, in press.
 - 32 . Toda, S. and Matsumura, S., Spatio-temporal stress states estimated from seismicity rate changes in the Tokai region, central Japan, *Tectonophysics*, in press.
 - 33 . Zhuang, J., Ogata, Y. and Vere-Jones D., Diagnostic analysis of space-time branching processes for earthquakes. Chapter 15 of *Case Studies in Spatial Point Process Models*, Eds. Baddeley A., Gregori P., Mateu J., Stoica R. and Stoyan D. Springer-Verlag, New York, in press.
 - 34 . Toda, S., and S. Matsumura, Spatio-temporal stress states estimated from seismicity rate changes in the Tokai region, central Japan, *Tectonophysics*, in print.
 - 35 . 木下博久, 野原 壮, 中田 高, 池田安隆, 伊藤 潔, 大槻憲四郎, 鷺谷 威, 高田圭太, 遠田晋次, 比較的規模の大きな地下活断層の特徴とその調査手法の検討 (A feasibility study on research techniques for subsurface active faults) , 活断層研究 , 25 , 27-37 , 活断層研究会 , 2005 .

〔 口頭発表・招待講演 〕

- 1 . Ogata, Y., Seismicity anomalies measured by the ETAS model and stress changes, 招待講演, European Geophysical Union meeting, Session on "Dynamics of Seismicity

- Pattern and Earthquake Triggering", Vienna, Austria, April, 25, 2005.
2. 村田泰章, 尾形良彦, ドローネ三角形分割による重力データの平滑化と地殻表層密度推定, 地球惑星科学関連学会合同大会, 幕張メッセ国際会議場, 5月, 2005.
 3. 尾形良彦, 昭和の南海トラフ巨大地震前後の西南日本における地震活動と最近の活動, 招待講演, 地球惑星科学関連学会合同大会, 幕張メッセ国際会議場, 5月, 2005.
 4. 尾形良彦, ETASモデルで測る地震活動の静穏化・活発化とストレス変化との符合, 地球惑星科学関連学会合同大会, 幕張メッセ国際会議場, 5月, 2005.
 5. 尾形良彦, 地震の大きさ分布と地震検出率の同時推定および余震の確率予測, 地球惑星科学関連学会合同大会, 幕張メッセ国際会議場, 5月, 2005.
 6. 庄建倉, 尾形良彦, Analyzing foreshock features by using stochastic reconstruction, 地球惑星科学関連学会合同大会, 幕張メッセ国際会議場, 5月, 2005.
 7. 尾形良彦, 2005年福岡県西方沖の地震の余震活動と最大余震について, 第164回地震予知連絡会, 地震予知連絡会会議室, 九段第二合同庁舎, 東京, 5月16日, 2005.
 8. 尾形良彦, 近年の余震活動と常時地震活動について, 第164回地震予知連絡会, 地震予知連絡会会議室, 九段第二合同庁舎, 東京, 8月22日, 2005.
 9. 尾形良彦, 宮城県沖の地震と東北地方の地震活動について, 第164回地震予知連絡会, 地震予知連絡会会議室, 九段第二合同庁舎, 東京, 8月22日, 2005.
 10. 尾形良彦, 地震の大きさ分布と地震検出率の同時推定および余震の確率予測, 2005年度統計関連学会連合大会, 広島プリンスホテル, 9月12日, 2005.
 11. 田中 潮, 尾形良彦, 空間点過程モデルによるクラスター解析, 2005年度統計関連学会連合大会, 広島プリンスホテル, 9月12日, 2005.
 12. 尾形良彦, 2003年十勝沖地震(M8.0)と2004年釧路沖の地震(M7.1)の余震活動および北海道東部の内陸地震活動の特徴について, 日本地震学会秋季大会, 北海道大学, 10月, 2005.
 13. 尾形良彦, 福岡県西方沖の余震活動での相対的静穏化とストレスシャドウと前駆すべりのシナリオについて, 日本地震学会秋季大会, 北海道大学, 10月, 2005.
 14. 庄建倉, 尾形良彦, A study on the discrimination of foreshocks and other types of earthquakes by using stochastic reconstruction, 日本地震学会秋季大会, 北海道大学, 10月, 2005.
 15. 庄建倉, 尾形良彦, The largest event in earthquake clusters and relationship to foreshocks, AGU 2004 Fall Meeting, モスコーン国際会議場, サンフランシスコ, アメリカ合衆国, 12月05-09, 2005.
 16. 尾形良彦, Contributions of Professor Tokuji Utsu to statistical seismology and recent developments, 招待講演, The 4th International Workshop on Statistical Seismology, 総合研究大学院大学葉山キャンパス, 1月10日, 2006.
 17. 尾形良彦, Toward urgent forecasting of aftershock hazard: Simultaneous estimation of b-value of the Gutenberg-Richter's law of the magnitude frequency and changing detection rates of aftershocks immediately after the mainshock, The 4th International Workshop on Statistical Seismology, 総合研究大学院大学葉山キャンパス, 1月10日, 2006.
 18. 尾形良彦, Relative quiescence reported before the occurrence of the largest aftershock (M5.8) with likely scenarios of precursory slips considered for the stress-shadow covering the aftershock area, The 4th International Workshop on Statistical Seismology, 総合研究大学院大学葉山キャンパス, 1月10日, 2006.
 19. 尾形良彦, Monitoring of anomaly in the aftershock sequence of the 2005 earthquake of M7.0 at the western Fukuoka, Japan, by the ETAS model, 招待講演, 2006 International Workshop on Earthquake Precursor, 国立中央大学, 台湾, 3月6日, 2006.
 20. 庄建倉, 尾形良彦, Background and clustering seismicity in the Taiwan region, 招待講演, 2006 International Workshop on Earthquake Precursor, 国立中央大学, 台湾, 3月6日, 2006.
 21. 村田泰章, 尾形良彦, ドローネ三角形分割による重力データの平滑化と地殻表層密度推定、

- 地球惑星科学関連学会合同大会, 5月, 2005.
22. 尾形良彦, 昭和の南海トラフ巨大地震前後の西南日本における地震活動と最近の活動, 地球惑星合同学会 特別セッション S095 招待講演, 2005.
 23. Ogata, Y., Seismicity changes in western Japan associated with the great earthquakes near Nankai trough and their contemporary implications, Specially organized session S095, invited talk, 2005.
 24. 尾形良彦, 2004年紀伊半島南東沖の地震(M7.4)の余震活動の特徴と本震の破壊断層モデルとの関係について, 地震予知連絡会会報 第73巻, 495-498, 国土地理院, 2005.
 25. 尾形良彦, 2004年新潟県中越地震(M6.8)の余震活動の特徴と周辺部における地震活動の特徴について, 地震予知連絡会会報 第73巻, 327-331, 国土地理院, 2005.
 26. Ogata, Y., On an anomalous aftershock activity of the 2004 Niigata-Ken-Chuetsu earthquake of M6.8, and intermediate-term seismicity anomalies preceding the rupture around the focal region (in Japanese), *Report of the Coordinating Committee for Earthquake Prediction*, **73**, pp. 327-331, Geographical Survey Institute of Japan, 2005.
 27. 尾形良彦, 地震検出率と b 値の同時推定と余震の確率予測, 地震予知連絡会会報 第73巻, 666-669, 国土地理院, 2005.
 28. Ogata, Y., Toward urgent forecasting of aftershock hazard: Simultaneous estimation of b-value of the Gutenberg-Richter's law of the magnitude frequency and changing detection rates of aftershocks immediately after the mainshock, preprint, 2005.
 29. 尾形良彦, 2003年十勝沖地震(M8.0)と2004年釧路沖の地震(M7.1)の余震活動および北海道東部の内陸地震活動の特徴について, **地震予知連絡会会報** 第74巻, pp. 83-87, 国土地理院, 2005.
 30. 尾形良彦, 2005年福岡県西方沖の地震(M7.0)前の九州地方及び付近における中期的な地震活動の特徴について, **地震予知連絡会会報** 第74巻, pp. 523-528, 国土地理院, 2005.
 31. 尾形良彦, 福岡県西方沖の余震活動について: 最大余震(M5.8)以前に報告された相対的静穏化と余震域をストレスシャドウにするような前駆すべりのシナリオ, **地震予知連絡会会報** 第74巻, pp. 529-535, 国土地理院, 2005.
 32. 尾形良彦, 2003年十勝沖地震(M8.0)と2004年釧路沖の地震(M7.1)の余震活動および北海道東部の内陸地震活動の特徴について, **日本地震学会講演予稿集**, S023, 2005.
 33. Toda, S., Style of stress accumulation and release in northern Honshu Japan: A concept to explain the coexistence of destructive inland earthquakes and interplate thrust earthquakes (招待講演), Spatial and Temporal Fluctuation in the Solid Earth, 21COE International Symposium 2005, Sendai, Japan, 2005.
 34. 遠田晋次, 中村亮一, 宍倉正展, ウイリアムバクン, ロススタイン, 関東のプレート構造と安政江戸地震の震源, 歴史地震研究会安政江戸地震150周年記念大会, 2005.
 35. 遠田晋次, 断層間相互作用と「連動」 --断層個別評価から広域地震テクトニクスの統合的評価へ-- (Perspective of active fault study from a viewpoint of fault interaction), 日本地質学会第112回学術大会, 日本地質学会, 2005.
 36. 遠田晋次, なぜ活断層はそこにあるのか: フィリピン海プレートスラブとの相補関係 (Complementary distribution between inland active faults and subducted Philippine Sea plate), 日本地震学会秋季大会, 2005.
 37. 近藤久雄, 遠田晋次, 奥村晃史, 糸魚川-静岡構造線断層帯, 松本盆地東縁断層に沿う左横ずれ変位地形の予察的検討, 日本地震学会秋季大会, 2005.
 38. 粟田泰夫, 丸山 正, 伏島祐一郎, 吉岡敏和, 石山達也, 松浦旅人, 小松原 琢, 水野清秀, 岡村行信, 遠田晋次, 吉田邦一, 井村隆介, 2004年新潟県中越地震地域の活構造と地震断層, 平成16年新潟県中越地震被害調査報告会, 日本地震工学会, 2004.
 40. Toda, S., H. Kondo, and R. S. Stein, Why earthquakes on high-angle reverse faults produce voluminous aftershocks and triggered mainshocks: A presumption from the 2004 Niigata-ken Chuetsu Japan earthquake, Asia Oceania Geosciences Society 2005 annual meeting, Singapore, 2005.

42. 遠田晋次, 東北日本内陸ではなぜ東西圧縮型の地震が発生するのか. 沈み込み帯のセグメンテーションと内陸地殻歪みとの関係, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 2005.
43. 遠田晋次, 関東の地震テクトニクス再考: 新しいプレート構造の提案, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 2005.
44. 遠田晋次, 近藤久雄, 新潟県中越地震の余震はなぜ多発したのか: 歪み解放効率と地震サイズ分布との関係 (Why the 2004 M6.8 Niigata-ken Chuetsu earthquake produced voluminous aftershocks nearby: An inefficient strain release system), 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 2005.
45. 近藤久雄, 遠田晋次, 北アナトリア断層の活動繰り返しモデル - 1944 年 Bolu-Gerede 地震断層, 1999 年 Izmit 地震断層調査に基づく試論 -, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 2005.
46. Toda, S., Stein, R. S., Bozkurt, S. and Nakamura, R. : A dislodged tectonic block wedged beneath Tokyo, and implications for the enigmatic 1855 Ansei-Edo earthquake, 招待講演 American Geophysical Union fall meeting 2005, San Francisco, U.S.A., 2005.12.12
47. Stein, R. S., Bozkurt, S. and Toda, S. : Forecasting probabilistic seismic shaking for greater Tokyo based on 400 years of intensity observations 招待講演, American Geophysical Union fall meeting 2005, San Francisco, U.S.A., 2005.12.12
48. Stein, R. S., Toda, S., Parsons, T. and Bozkurt, S : A 35-40% likelihood of a highly damaging Tokyo earthquake in next 30 years, American Geophysical Union fall meeting 2005, San Francisco, U.S.A., 2005.12.13
49. Chen, K. H., Toda, S. and Rau, R. : Earthquake triggering along a segmented creeping fault: 1951 ML7.3 Hualien-Taitung earthquake sequence in eastern Taiwan, American Geophysical Union fall meeting 2005, San Francisco, 2005.12.15
50. Toda, S., Stein, R. S., K., Richards-Dinger and Bozkurt, S. : Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer 招待講演, The 4th International Workshop on Statistical Seismology, Soukandai, Hayama, 2006.1.12
51. Woessner, J., Wiemer, S. and Toda, S. : Correlating properties of aftershock sequences with earthquake physics 招待講演, The 4th International Workshop on Statistical Seismology, Soukandai, Hayama, 2006.1.12
52. Nanjo, K. Z., Holliday, J. R., Chen, C. C., Rundle, J. B. and Turcotte, D. L. : Forecasting the location of large future earthquakes in Japan and its forecast verification, 21 COE International Symposium 2005 Spatial and Temporal Fluctuations in the Solid Earth -Clues to the Future of Our Planet-, Sendai, Japan, 2005.7.23
53. 楠城一嘉, Enescu, B., Shcherbakov, R., Turcotte, D. L. : 余震の減衰様式について, 日本地震学会, 2005.10.19
54. 楠城一嘉, Turcotte, D. L. : ファイバー束を用いて上部大陸地殻の変形をモデル化する, 日本地震学会, 2005.10.19
55. 楠城一嘉: 将来の地震の発生場所を予測する新たな手法: パターンインフォマティクス, 形の科学シンポジウム「環境システムと形」, 2005.11.6
56. 楠城一嘉, Holliday, J. R., Rundle, J. B., Turcotte, D. L. : 過去の地震活動に基づいて将来の地震の発生場所を予測するシミュレーションモデル 地殻活動データに基づく予測シミュレーションモデル構築に向けて, 2005.11.10
57. Chen, C., Rundle, J. B., Holliday, J. R., Nanjo, K., Turcotte, D. L., Li, S. and Tiampo, K. F. : From tornadoes to earthquakes: forecast verification for binary events applied to the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake, American Geophysical Union 2005 Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., 2005.12.7
58. Tiampo, K. F., Rundle, J. B., Holliday, J. R., Nanjo, K. Z., Chen, C., Turcotte, D. L. and Jimenez, A. : Earthquake forecasting using the Pattern Informatics (PI) index, American Geophysical Union 2005 Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., 2005.12.7
59. Nanjo, K. Z., Enescu, B., Shcherbakov, R. and Turcotte, D. L. : Aftershock relaxation for

- Japanese and Sumatra earthquakes, American Geophysical Union 2005 Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., 2005.12.7
60. Rundle, J. B., Turcotte, D. L., Holliday J. R., Rundle P. B., Tiampo, K.F., , Chen, C., Nanjo, K. Z., Donnellan, A. and Klein, W. : 100 years after the San Francisco earthquake of 1906: earthquake forecasting and forecast Verification -status, prospects and promise, American Geophysical Union 2005 Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., 2005.12.7
 61. Nanjo, K. Z. , Enescu, B., Shcherbakov, R., Turcotte, D.L., Iwata, T. and Ogata, Y.: Aftershock relaxation for Japanese and Sumatra earthquakes, The 4th International Workshop on Statistical Seismology, Hayama, Japan, 2006.1.9
 62. 楠城一嘉 , Enescu, B. , Shcherbakov, R. , Turcotte, D. L. , 岩田貴樹 , 尾形良彦 : 余震の減衰様式 : 2004 年スマトラ沖地震と最近日本で起きた地震について, 両極域から見た地球内部の不均質構造とダイナミクスに関する研究集会, 2006.2.2
 63. 楠城一嘉 : 地震の理解と予測に向けた研究 : 統計学的アプローチ , 特別セミナー (企画者 : James Mori) , 2006.2.8
 64. 岩田貴樹 : Harvard カタログにおいて大地震発生直後に見られるグローバルな地震検出率の低下, 日本地震学会, 2005.10.20
 65. 岩田貴樹 , 片尾 浩 : The correlation between the phase of the moon and the occurrences of microearthquakes in the Tamba region, The 4th International Workshop on Statistical Seismology, Hayama, Japan, 2006.1.10
 66. 岩田貴樹 : 遠地地震波による動的トリガリング 長野県松代における解析例 , 両極域から見た地球内部の不均質構造とダイナミクスに関する研究集会, 2006.2.3

5 . その他

5-1. 第 4 回統計地震学国際ワークショップの開催

地震予測解析グループは統計数理研究所・予測発見戦略センターのプロジェクト研究のひとつとして成立し, 以来 3 年が経過した節目として国際ワークショップ「統計地震学 (Statistical Seismology)」が総合研究大学院大学葉山キャンパス講堂と湘南国際村センター会議場で実施された。参加者の内訳は日本 (23) 米国 (11) イタリア (10) ニュージーランド (7) 中国 (4) スイス (4) フランス (3) 台湾 (3) ドイツ (2) メキシコ (1) イギリス・トルコ (1) で、チュートリアル講演ほか 28 件の講演と 39 件のポスター発表があった。このワークショップの趣旨および企画・運営については参加者からの高い評価を頂いた。ワークショップの詳細, 例えばプログラム, アブストラクト[1], 講演・発表内容のファイル, 写真集, 配布した CD ROM 中の地震活動解析用統計ソフトウェア, そして今回のワークショップの内容と運営に関する評価・コメント及び第 5 回ワークショップへ向けての助言を取りまとめたものはワークショップの WEB ページ[2] に掲載されている。

5-2. 地震予測解析グループプロジェクトの外部審査実施

2006 年 1 月 16 日と 17 日の 2 日間、統計数理研究所に於いて地震予測解析グループの 3 年間 (5 年) の研究の外部審査が執り行われた。審査委員会は

- ・ Vere-Jones, David ウェリントン・ヴィクトリア大学名誉教授 (ニュージーランド)
- ・ Ellsworth, William 米地質調査所 (USGS) 地震災害チーム部長
- ・ Cocco, Massimo イタリア地球物理火山研究所地震部長
- ・ 島崎邦彦 東京大学地震研究所 教授 (現日本地震学会会長)
- ・ 橋本 学 京都大学防災研究所地震予知研究センター 教授

の5名をもって構成された。当グループは研究中間報告書(英文[3]と和文[4])を1ヶ月前以上に前もって提出送付し、当日はグループ代表はじめ各メンバーが研究内容の骨子を説明、委員の質疑に対応した。審査チームから研究の評価と助言のレポート[5]を受けた。評価は(1)研究成果の統計科学と地震学的な質とインパクト、(2)共同研究と社会に対する貢献、(3)後継者養成、(4)将来の研究方向に対するコメント及び助言、(5)総合的結論と提言からなり、全般的に極めて高いものであった。

【参考文献】

- [1] Ogata, Y, Nanjo, K. and Iwata, T., eds., The 4th International Workshop on Statistical Seismology, 統計数理研究所研究教育活動報告No. 23, Jan. 2006
- [2] Statei Workshop., WEB site <http://www.ism.ac.jp/~ogata/Statsei4/index.html>
- [3] Statistical Seismology Research Group, Progress Report on the ISM Project 2003-2007, Institute of Statistical Mathematics, Tokyo, 2006.
- [4] 地震予測解析グループ, 統計的地震予測の組織的研究(2003-2007)の中間報告, 統計数理研究所, 2006.
- [5] Vere-Jones, D., Ellsworth, W., Cocco, M., Shimazaki, K. and Hashimoto, M., *Report of the External Review Committee on the Statistical Seismology Research*, Institute of Statistical Mathematics, Tokyo, 2006.

サブテーマ 1：予測と発見のためのモデリング技術とアルゴリズム開発

1-3：遺伝子多様性解析

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] 藤澤 洋徳, 栗木 哲, 南 美穂子, 池田 思朗, 伏木 忠義, 川喜田 雅則

[癌研究所] 松浦 正明, 宮田 敏, 牛嶋 大

1. 研究目標

バイオインフォマティクスの基本課題である「高次元データ・小標本数」の問題に統計学の立場から挑戦する。バイオテクノロジーの急速な発展にデータの次元は膨大となり, SNP, マイクロアレイ, プロテオームのデータが日々, 世界的な規模で急速な勢いで得られている。しかし, ほとんどのデータセットにおいて標本数はデータの次元と比べて非常に小さくて従来の統計理論は使えない。統計的な思考からありとあらゆるアプローチを尽くし, この問題の解決へ一歩でも近づくことを目指す。

2. 年次研究計画

平成 17 年度 . ゲノムデータのマイクロ・アレイデータと SNP データ・プロテオーム・データの個々の問題を解決する。

平成 18 年度 : 上記のデータに共通の問題点である「高次元データ・小標本数」の統合理解による方法の考案し, 被験者が同時に 3 つのタイプのデータを持ったときにより高い精度で統計的検証ができる方法を開発する。

3. 平成 17 年度の研究進捗

(1) マイクロアレイの発現データ, (2) SNP の遺伝子型のデータ, (3) プロテオームのマスターデータ という 3 つのデータに特化した統計方法の開発を進展させた。これらの共通の視点は「高次元データ・小標本数」の問題である。これらのデータを解析するとき, 統計方法が適切に働くために必要なサンプル数を得ることは現実的には困難であり, その点が本質的な問題となる。この問題に対する, 上記 3 項目についてのこれまでの成果及び進捗状況は以下の通りである。

(1) プローブとサンプルの SNP 情報を参照して 11 プローブのシグナル値の補正をする方法を開発中である。

(2) SNP の遺伝子型のデータに関してはハプロタイプブロックによって分ける方法を開発した。ハプロタイプブロックと疾病や治療効果との相関解析の結果の評価を強化できる統計方法を開発中である。

(3) ピークパターンと疾病との関連性を発見するために『共通ピーク』という考えに基づきアルゴ

リズムを開発した。見せ掛けのピークパターンにロバストな方法であることが検証された。

来年度はこの成果の上に統合的な理解による新しい方法の開発を目指す。

4. 平成17年度研究成果

(1) 知見・成果物・知的財産権等

(特願2003-58511)

【発明の名称】「クラスタリング装置、クラスタリング方法、クラスタリングプログラム」

(2) 成果発表及び著書執筆等

Fushiki, T., Fujisawa, H. and Eguchi, S. (2006) Identification of biomarkers from mass spectrometry data using a "common" peak approach. ISM Research Memo. 979.

Takenouchi, T., Ushijima, M. and Eguchi, S. (2005). GroupAdaBoost for selecting important genes. IEEE 5th Symposium on Bioinformatics and Bioengineering, 218-221.

Fujisawa, H. and Eguchi, S. (2005) A new approach to robust parameter estimation against heavy contamination. ISM Research Memo. 947

江口真透. (2005). DNA チップデータ解析において統計学の役割は何か? バイオテクノロジージャーナル 5, 430-435, 羊土社

【参考文献】

Copas, J. and Eguchi, S. (2005). Local model uncertainty and incomplete data bias (with discussion). Journal Royal Statistical Society B, 67, 459-512

Kawakita, M., Minami, M., Eguchi, S. and Lennert-Cody, C. E. (2005). An introduction to the predictive technique AdaBoost with a comparison to generalized additive models. Fisheries Research 76, 328-343

Fujisawa, H. and Eguchi, S. (2006). Robust estimation in the normal mixture model. To appear in Journal of Statistical Planning and Inference.

Matsuura, M. and Eguchi, S. (2005). Modeling late entry bias in survival analysis. Biometrics 61, 559-566.

Mollah, N. H. Minami, M. and Eguchi, S. (2006). Exploring latent structure of mixture ICA models by the minimum beta-divergence method. Neural Computation 18, 166-190.

サブテーマ 1：予測と発見のためのモデリング技術とアルゴリズム開発 1-4：生物多様性の総合的理解を目指して

研究代表者

[統計数理研究所] 長谷川 政美(予測発見戦略センター)

共同研究者

[統計数理研究所] 足立 淳(予測発見戦略センター), 曹 纓(予測発見戦略センター)

1. 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。そのために、生物学上の問題解決をはかりながら、ポストゲノム時代に即した分子系統樹推定法の確立を目指す。

2. 年次研究計画

テーマ	16年度	17年度	18年度
生物多様性の総合的理解を目指して	予備研究	問題の絞り込み	問題解決とソフトウェアの整備

3. 平成17年度の研究進捗

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。蛋白質コード領域の配列データから系統樹推定する際に、コドン単位の置換をモデル化したコドン置換モデルが有効であることを確かめた。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テンレック類、原猿類、バオバブ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。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。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。

4. 平成17年度研究成果

(1) 知見・成果物・知的財産権等

BKV ウイルスのゲノムデータについて、系統樹解析とともに、適応進化を検出するための解析を行ない、いくつかの生物学的に興味ある知見を得た。

(2) 成果発表及び著書執筆等

Nishimoto, Y., T. Takasaka, M. Hasegawa, H.Y. Zheng, Q.Chen, C. Sugimoto, T. Kitamura, and Y. Yogo (2006) Evolution of BK virus based on complete genome data. *J. Mol. Evol.* (in press).