平成 26 年度　未来研究ラボシステム　研究成果報告書

研究種目：展開研究　　研究期間：平成２６年 ４月～平成２７年 ３月
研究課題名：情報論的階層性に注目したビッグデータ解析基盤の構築と応用
ラボ長
　所属：機能創成・生体工学
　氏名：清野 健

研究成果（当初の研究目的と得られた結果を記載してください。図表を含め２ページ程度）：

本研究の目的は，大規模データが有する情報論的構造の解析技術を開発し，生体信号データを具体例としてその有用性を示すことである．課題名にある情報論的階層性とは，情報理論もしくは統計力学における最大エントロピー原理から導かれるようなミクロな詳細に依存しないマクロ構造や法則性の出現を意味する．

本年度は，心拍変動，睡眠ポリグラフ，身体加速度などの生体信号データの分析手法の開発およびそれらデータの分析を中心に研究を実施した．主な成果は以下である．

1) q-対数変換と混合分布モデルを用いた生体情報クラスタリング

混合分布モデルのあてはめによる疾患・非疾患群のクラスタリング手法の前処理として，q-対数を適用した．これまでの臨床検査学の知見として，非正規分布を示す検査指標に対して Box-Cox 変換と呼ばれるべき乗変換を適用することで，ほとんどの指標分布が正規化できることが知られている．一方，数学的視点では，この Box-Cox 変換は和と積の演算を拡張した q-代数における q-対数関数に一致する．従来，Box-Cox 変換が分布の正規化に有効であることの根拠は明確ではなかった．本研究ではその根拠として，q-積が実在の現象の記述において有用である可能性を指摘した．

2) 睡眠時呼吸障害における呼吸循環器系の同期現象の解析

中枢性睡眠時無呼吸症候群を合併した心疾患患者において，睡眠時の無呼吸・低呼吸の周期的発生が心拍変動に与える影響を定量的に評価した．本研究では，睡眠ポリグラフ（PSG）検査で測定された，鼻気流，動脈血酸素飽和度（Sp02），および心拍変動データを使用し(図１)，信号間の同期特性を特徴付ける方法を提案した．さらに，それらの同期特性と生命予後との関係を調べ，呼吸循環器系の同期特性が予後予測因子であることを見いだした．

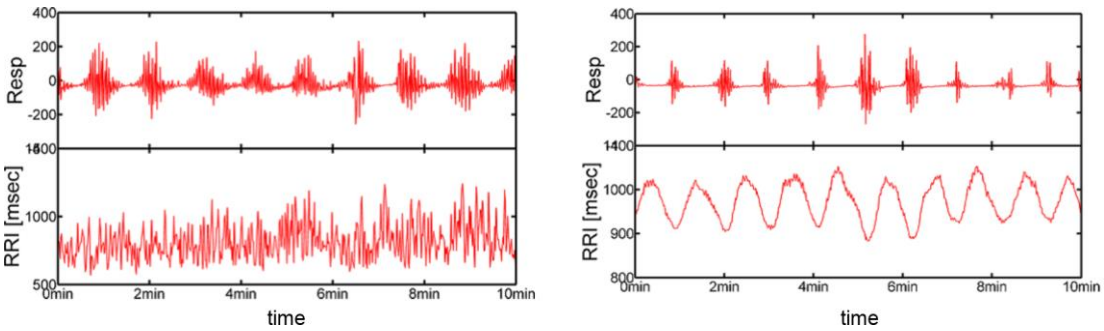

図１：睡眠ポリグラフ検査で記録した鼻気流（上）および心拍変動（下）時系列の例．（左）73 歳男性．（右）74 歳男性．鼻気流と心拍変動の同期が強いほど予後不良であった．

3) 対数キュムラントに基づくマルチフラクタル時系列解析

本研究では，時系列のマルチフラクタル性を評価する解析法として，対数キュムラントを使った方法を導入した．この方法には，2 次程度のモーメント推定量を使ってマルチフラクタル性の有無を検証できる利点がある．

4) 心拍変動の LF・HF 成分にみられる振幅変調特性の解析

心拍変動の特性として，0.15-0.4 Hz の高周波領域（HF），および 0.04-0.15 Hz の低周波領域（LF）の周期振動成分がある．HF 成分は呼吸に同期した刺激が主に呼気時に心臓迷走神経を介して洞結節に伝わることで発生する．一方，LF 成分は，約 10 秒周期の収縮期血圧の振動が圧受容器反射により心臓迷走神経系もしくは交感神経系を介して洞結節を抑制することで発生すると考えられている．従来，これらの成分を定量化するために，心拍変動のパワースペクトルにおける HF および LF 領域のパワーが指標として使われてきた．本研究では，これらの成分の振幅変調を分析した．その結果，健常人の心拍変動の HF および LF 成分の振幅変調には，従来知られていなかった長時間相関がみられた．

5) ウェアラブルセンサを用いた歩行状態の評価法の開発

現在，国内において，健常寿命の延伸が重要な課題となっている．平均寿命と健康寿命の差は健康上の問題により日常生活に制限のある期間をあらわし，この差の拡大が社会的負担の増加をもたらしている．そこで，本研究では，自立生活の基本要件である歩行能力について，日常生活中にウェアラブルセンサを用いて評価する方法を開発した．

以上の研究成果の発表と本研究課題に関連した研究領域の発展のため以下の研究会を開催した．

1) 本計画の研究組織全体での研究ミーティングを 2014 年 10 月 30 日に開催した．これまでの成果と今後の研究計画について議論した．

2) 計測自動制御学会のライフエンジニアリング部門ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2014 において，オーガナイズセッション「生体情報ビッグデータの解析技術とその応用」を 2014 年 9 月 19 日金沢大学にて開催した．

キーワード：

ビッグデータ，生体情報，機械学習，生体信号解析，心拍変動，

研究経費（H26 年度）の内訳

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
224,899 円	620,440 円	129,834 円	0 円	24,827 円	1,000,000 円

共同研究者等

(1)共同研究者（氏名・所属）

鎌谷 研吾・システム創成専攻数理科学領域

加嶋 健司・京都大学大学院情報学研究科

平成 26 年度　未来研究ラボシステム　研究成果報告書

(2)研究協力者（氏名・所属・学年（学生の場合））

東 晃弘・機能創成専攻生体子工学領域・Ｍ２

遠藤 哲太朗・機能創成専攻生体子工学領域・Ｍ２

竹内 公一・機能創成専攻生体子工学領域・Ｍ２

藤井 翔太・機能創成専攻生体子工学領域・Ｍ１

松井　翔士郎・機能創成専攻生体子工学領域・Ｍ１

森脇　康貴・機能創成専攻生体子工学領域・Ｍ１

発表論文等（平成 27 年 3 月 31 日現在）

〔雑誌論文〕

1. Tomohide Ichikawa , Yoshihiro Sobue , Atsunobu Kasai , Ken Kiyono , Junichiro Hayano , Mayumi Yamamoto , Kentarou Okuda , Eiichi Watanabe , Yukio Ozaki: Beat-to-beat T-wave amplitude variability in the risk stratification of right ventricular outflow tract-premature ventricular complex patients, Europace. 2015 Mar 1. pii: euu404.
2. 清野　健，早野　順一郎，山本　義春: 長期心拍変動からみる自律神経障害，Clinical Neuroscience, 32 (12), 1428-1430 (2014).
3. Momoko Kayaba, Kaito Iwayama, Hitomi Ogata, Yumi Seya, Ken Kiyono, Makoto Satoh, Kumpei Tokuyama: The effect of nocturnal blue light exposure from light-emitting diodes on wakefulness and energy metabolism the following morning, Environmental health and preventive medicine, 19 (5), 354-361 (2014).
4. 清野　健: 非平衡系の非ガウス雑音 ― 現象論的モデルとその応用，システム/制御/情報，58 (5), 187-192 (2014).
5. Kengo Kamatani and Masayuki Uchida. Hybrid multi-step estimators for stochastic differential equations based on sampled data. Stat.Inference Stoch. Process., 2014. to appear.
6. Alexandre Brouste, Masaaki Fukasawa, Hideitsu Hino, Stefano M. Iacus, Kengo Kamatani, Yuta Koike, Hiroki Masuda, Ryosuke Nomura, Teppei Ogihara, Yasutaka Shimuzu, Masayuki Uchida, and Nakahiro Yoshida. The yuima project: A computational framework for simulation and inference of stochastic differential equations.Journal of Statistical Software, 57(4):1-51, 2014.
7. Kengo Kamatani. Asymptotic properties of Monte Carlo strategies for cumulative link model. Journal of the Japan Statistical Society, 2014. to appear.
8. Kengo Kamatani. Local consistency of Markov chain Monte Carlo methods. Ann. Inst. Statist. Math., 66(1):63-74, 2014. (doi:10.1007/s10463-013-0403-3)
9. Kengo Kamatani. Local degeneracy of markov chain monte carlo methods. ESAIM: Probability and Statistics, eFirst, 2 2014.(doi:10.1051/ps/2014004)

〔著書〕
なし.

〔学会発表〕
1. 清野　健: (Invited) 非ガウス過程の数理とその応用 ― 心拍ゆらぎの非ガウス性と健康 ―, 数学と物理学と情報科学の研究交流シンポジウム, 奈良女子大, 奈良, 2014 年 12 月 6 日.
2. H. Wendt, K. Kiyono, P. Abry, J. Hayano, E. Watanabe, Y. Yamamoto: MultiScale wavelet p-leader based heart rate variability analysis for survival probability assessment in CHF patients, Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE, 2014 年 08 月, Chicago, USA.
3. Ken Kiyono: Multiscale entropy analysis of heart rate variability in patients with permanent atrial fibrillation: Application to Stroke Risk Assessment, International Biomedical Engineering Conference 2014, 20 Nov 2014, Kwangju, Korea.
4. Kengo Kamatani: (Invited) Hybrid multi-step estimators for stochastic differential equations based on sampled data, ERCIM, Pisa, Italy, Dec, 2014.
5. 鎌谷 研吾: (Invited) マルコフ連鎖モンテカルロ法の退化性の評価, 統計関連学会連合大会, Tokyo, Sep, 2014.
6. Kengo Kamatani: Rate optimality of Random walk Metropolis algorithm in high-dimension with heavy-tailed target distribution, DynStoch 2014,Warwick, UK, Sep, 2014.
7. Kengo Kamatani: The order of degeneracy of Markov chain Monte Carlo Method, IMS-APRM 2014, Taipei, Chinese Taipei, 1st, Jul, 2014.

〔その他〕
1. 鎌谷 研吾: 小川奨励賞, 日本統計学会, 2014

外部資金獲得状況・申請状況（本研究課題に関連して、科研費、JST 等の競争的資金、受託研究、奨学寄付金を受給された場合、また、申請された場合はその状況を記入ください）
1. 鎌谷 研吾（代表）: 若手科研 (B), 隠れマルコフモデルに対する統計計算手法の漸近的解析, 24740062, 2012-2014.
2. 清野 健（分担）: 基盤研究 (C), 心臓植込み型デバイス遠隔モニタリングの生体信号データに基づく災害時の対策立案, 14487757, 2014-2016.
3. 清野 健（分担）: 基盤研究 (C), 東日本大震災が心拍変動に与える影響：ホルター心電図大規模データベースを用いた検討, 13239489, 2013-2015.
4. 清野 健（分担）: 基盤研究 (A), 固視微動および立位姿勢動揺とその神経症候に基づく姿勢保持の神経制御理論の再構築, 14431458, 2014-2016.

［申請中］
1. 清野 健（代表）: 平成 27 年度基盤研究 (B), 心拍変動ダイナミクスにみられる病態遷移過程の数理的構造の理解とその応用, 15557391.

2. 清野 健（代表）：平成 27 年度基盤研究（C），多重スケール解析を応用した生体信号時系列の分析法の開発，15611974.
3. 清野 健（分担）：平成 27 年度基盤研究（B），微小粒子状物質（PM2.5）とその成分が不整脈発生や心拍変動に及ぼす影響，15549504.
4. 清野 健（分担）：平成 27 年度基盤研究（C），透析療法中の突発的血圧低下を予知するﾆｭｰﾗﾙﾈｯﾄﾜｰｸｼｽﾃﾑの構築，15611974.

参考となるＨＰ等

http://www.sigmath.es.osaka-u.ac.jp/~kamatani/research/