

物理統計学分野 2017

数理工学専攻説明会
2017年5月14日(日)

教員： 教授：梅野 健、
准教授：五十嵐顕人、
助教：佐藤彰洋

物理統計学1ページサマリー

- **研究対象**: 統計物理学, カオス理論, 新通信方式(5G), 脳, 暗号理論, 金融解析, 量子カオス, ビッグデータ解析, Deep Learningの理論, 大地震前電離圏解析(New)
- **研究成果の報道発表**: 2回(2016年度)→各種メディア, 国会で取り上げられる。
- **多様なメンバー**: 教員3名(教授、准教授、助教), 研究員3名(含む学振PD 1名), 学生16名(D: 3名, M: 10名, B: 4名)
- **現役学生の出身大学**: 大阪市立大学、早稲田大、大阪大、神戸大、吉林大(中国)
- **現役研究員の出身大学院**: 京都大学、東京大学、名古屋大学
- **多様な進路(修士修了)**: 通信インフラ系(KDDI)、データ系(NTT Data)、IT系, 博士課程(半年短縮し進学した者も含む)
- **多様かつ安定した進路(博士修了)**: 大学教員(博士課程3年→大学パーマネント助教, 分野:暗号理論), 理研脳科学総合研究センター研究員(分野:統計力学)

カオス：予測不可能な現象

世界で初めて物理現象として観測されたカオス
(誕生の地：京大, 1961年11月 上田皖亮(名誉
教授)が大学院生の時)





ラプラス
(1749-1827)

確率の哲学的試論

(ラプラス, 1814年) 内井惣七(京都大学)(岩波, 1997)

- ある知性が、与えられた時点において、自然を動かしているすべての力と自然を構成しているすべて存在物の各々の状況を知っていると、さらにこれらの与えられた情報を分析する能力をもっているとしたならば、この知性は、同一の方程式のもとに宇宙のなかの最も大きな物体の運動も、また最も軽い原子の運動をも包摂せしめるであろう。**この知性によって不確かなものは何一つない**し、その目には未来も過去と同様に現存することであろう。

科学とは？

- 人類の予測能力に関する諸説を巡る人間の闘い
- ニュートン(**決定論**)→ラプラス(ラプラス的世界感と**確率論の導入**)→ボルツマン(**分子混沌仮説**—物理における確率の導入(統計力学))
→ポアンカレ(カオスの概念)→量子力学(1925)→現在(**ビッグデータ、AIのブーム**)
ブームは一過性かそれとも変革か？

我々が取り組んでいる研究課題例

- 地震は予測できるか？
- 時間の矢は何故あるのか？
- 市場の株価変動に普遍則はあるか？
- 脳にカオスは役だっているのか？

物理学と統計学

- 物理学と統計学とどちらが最強の学問なのか？

物理統計学は如何？

- 物理統計学は最強ではなく、**普通の学問**
(2つの異なる学問(物理と統計)を繋ぐ意味で。

物理統計学は如何？

ただし、基礎となる2つの学問(物理学と統計学)が最強とすると、物理統計学は最強の学問を組み合わせたものなので、**超最強**と言える。

結論： 物理統計学(超最強)

= 物理学(最強) × 統計学(最強)

2017年3月23日終了の6名の博論(1)・ 修士論文(5)のテーマ

- Study on permutation polynomials over a ring of modulo 2^w and their applications to cryptography(世界最速カオス暗号, 乱数性評価)→4月から別大学で助教:独立研究室運営(博士(情報学))
- Correlation analysis for preseismic total electron content anomalies before large earthquakes in Japan (地震、衛星データ解析、相関解析)→4月からNTTデータ(修士(情報学))
- 複雑ネットワークにおけるカスケード破壊と経路制御(複雑ネットワーク、頑健性)→4月からKDDI(修士(情報学))
- ソーシャルネットワーク上の情報拡散におけるネットワーク構造依存性の分析一(SNS、情報拡散) →4月から明電舎(修士(情報学))
- 探索範囲の広域化に基づくシミュレーテッドアニーリングの高速化について(最適化、カオス、冪分布、状態推定)→4月からITベンチャー((修士(情報学))
- Conditional Lyapunov exponent criteria in terms of ergodic theory and limit distributions for sums of non-identical random variables with power-laws(一般化中心極限定理の更なる一般化、カオス、カオス同期))→4月からITベンチャー((修士(情報学))

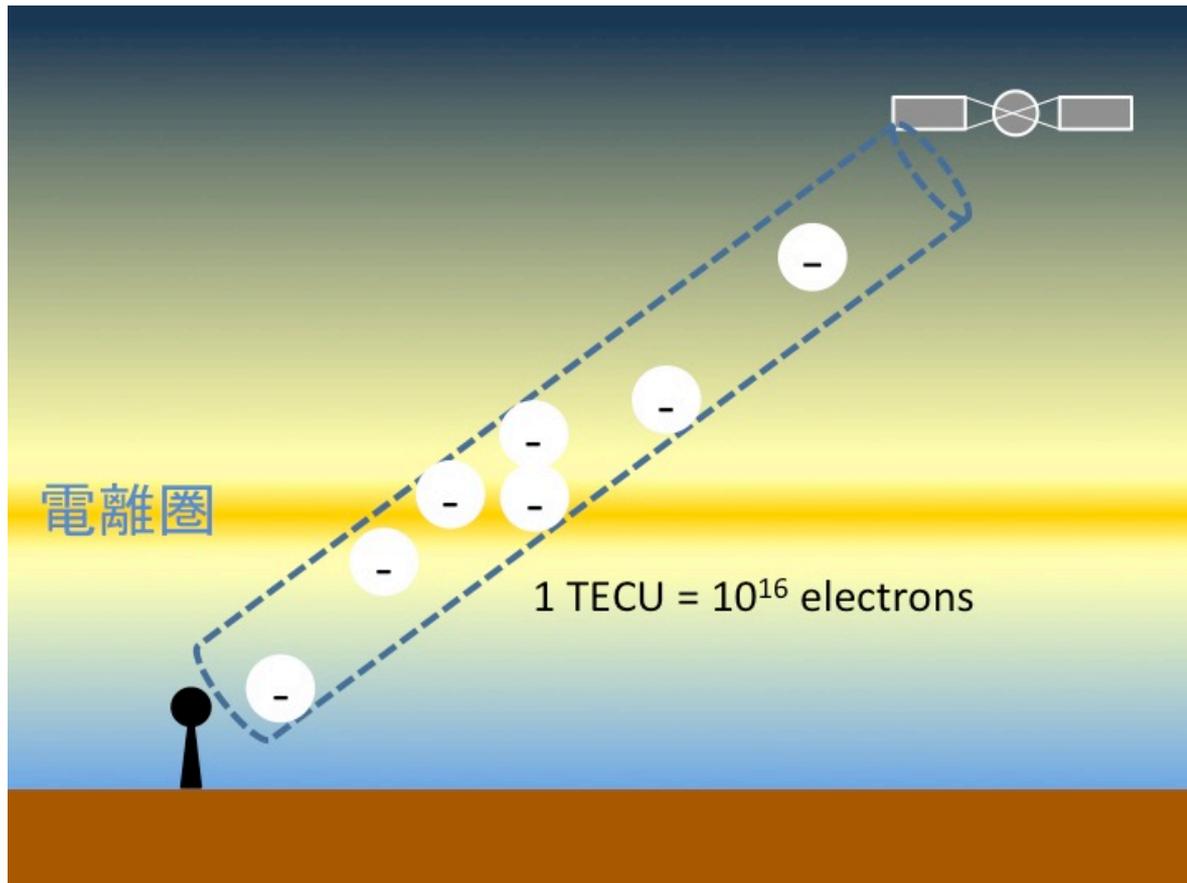
運営の特徴

- 週1回(木曜日)の研究会(3-4時間) — 唯一のコアタイムと教員との随時の面談を通して研究指導。
- 面白い研究テーマはプロジェクト化することもある。
- 新M1等の新入生の研究テーマは毎年10月の研究室合宿(2泊3日)でたっぷりと議論をして決めていく。
- 場所 — 総合研究10号館2階 217号室(学生部屋)。
- 総合研究10号館2階 214号室(通称ドクター部屋)

研究紹介(梅野教授担当)

- 5G基本方式の設計・評価
- QMC(準モンテカルロ法)に基づく通信方式
- カオス市場仮説(提唱中)の検証—完全にランダムではない。短期相関(=混合性)はあると仮定。—
- カオス性に基づくファイナンス(確率過程)理論を一から構築中。
- データのみを信じない。データで得られる推定の限界を与える理論構築
- 冪則に基づく学習理論
- カオスモンテカルロ法(新しいモンテカルロ法)
- 脳のカオス性解析(最近一部実験で実証された)
- GPS TECデータを用いた地震の予測
- カオス最適化
- 解析(カオス性、エルゴード理論)手法の開拓
- 可解カオスモデルの拡張

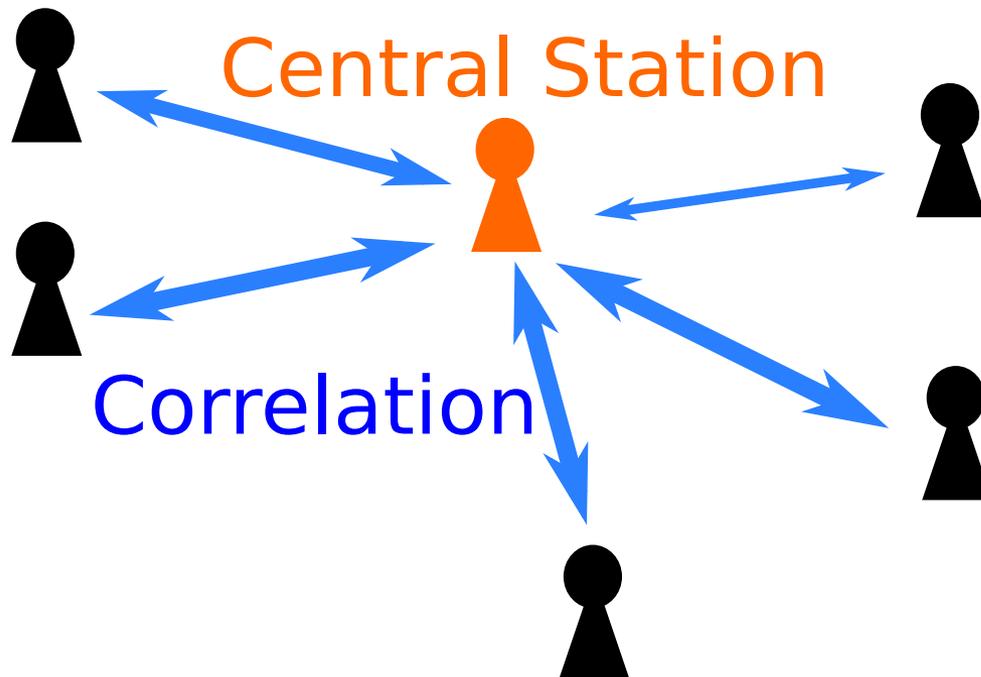
大気中の総電子数を測定する



- 電子数の単位にはTECU (TEC Unit)が用いられる。
- 1 TECU は衛星と観測局を結ぶ半径1mの円柱内に 10^{16} 個の電子が存在することを表す。

新しい革新的なアイデア

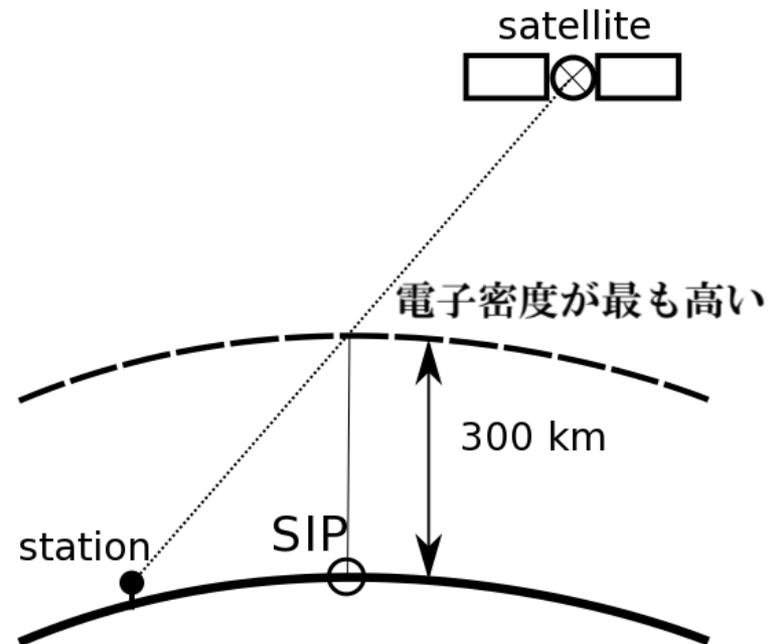
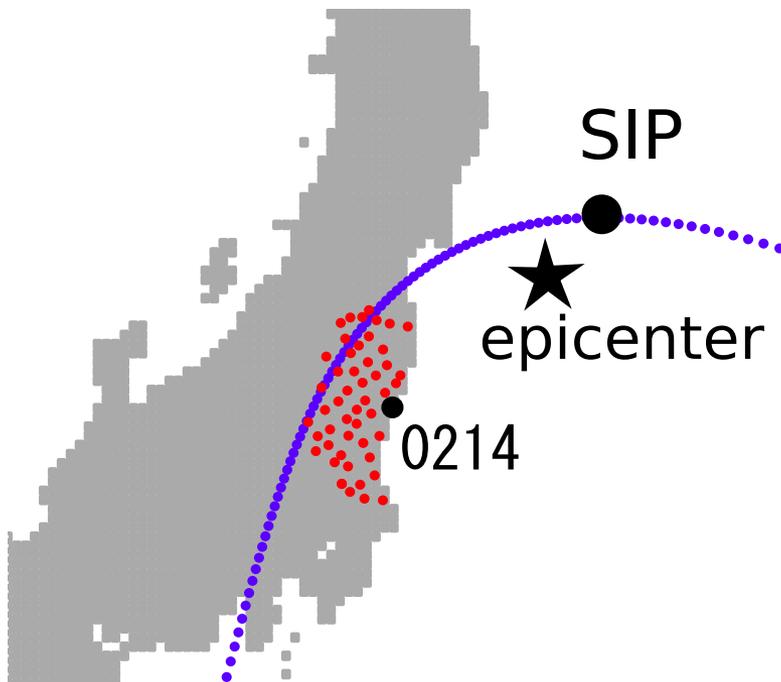
(通信分野の考え方→データ解析に応用)



- 周囲の観測局との相関を計算する
- 相関・・・積と和を取るだけの簡単な計算
- 無線通信などでノイズを取り除くために行われる操作

2011 東北沖地震

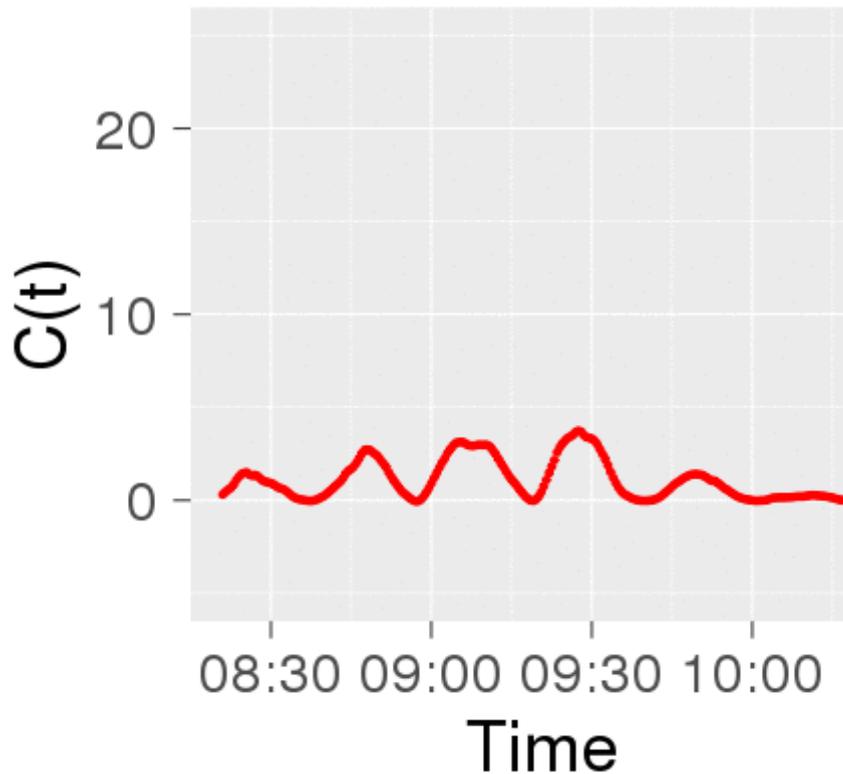
- 本震 : 2011/03/11 05:46 [UT (世界標準時)]
- Mw : 9.0



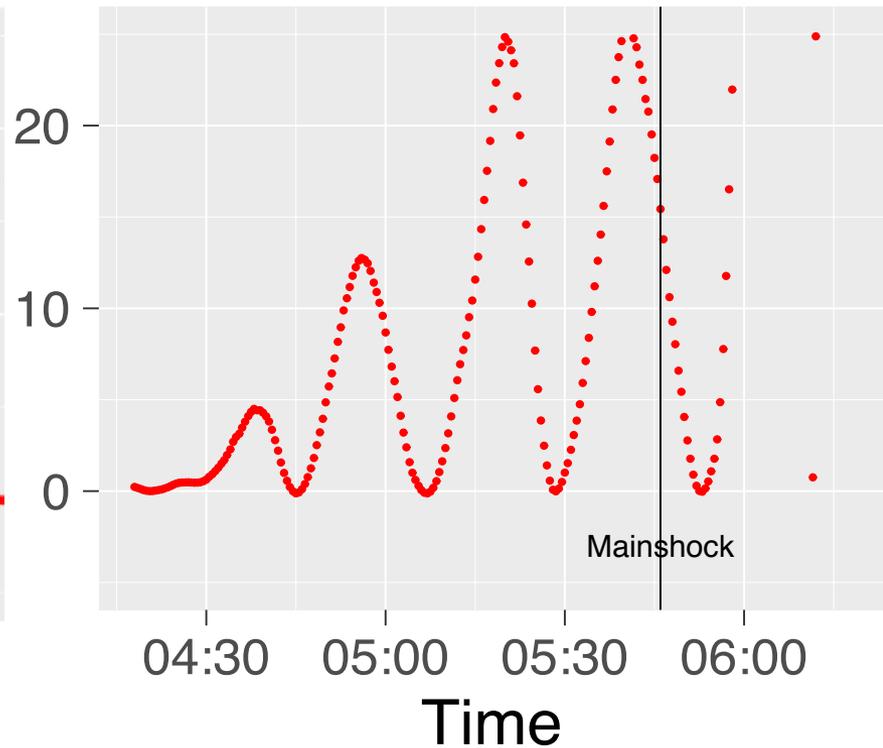
2011 東北沖地震

Takuya Iwata and Ken Umeno (2016)
Journal of Geophysical Research –Space Physics

2011/01/10



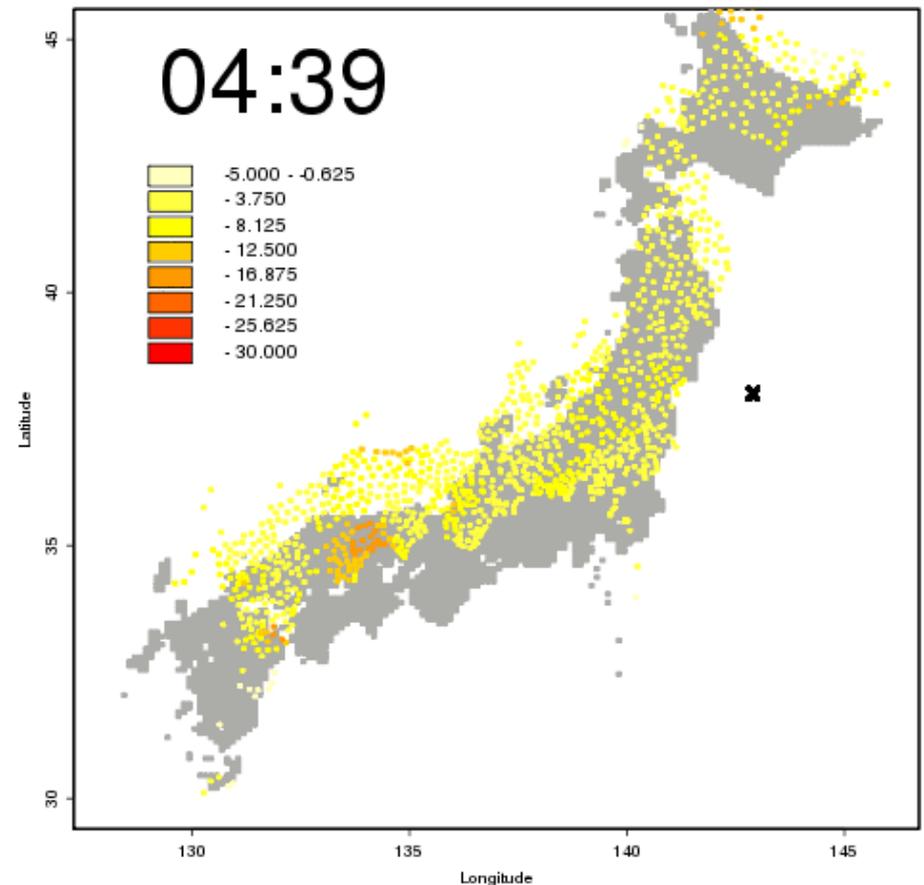
2011/03/11



2011 東北沖地震

Takuya Iwata and Ken Umeno, Journal of Geophysical Research (2016) vol. 121: (公開)

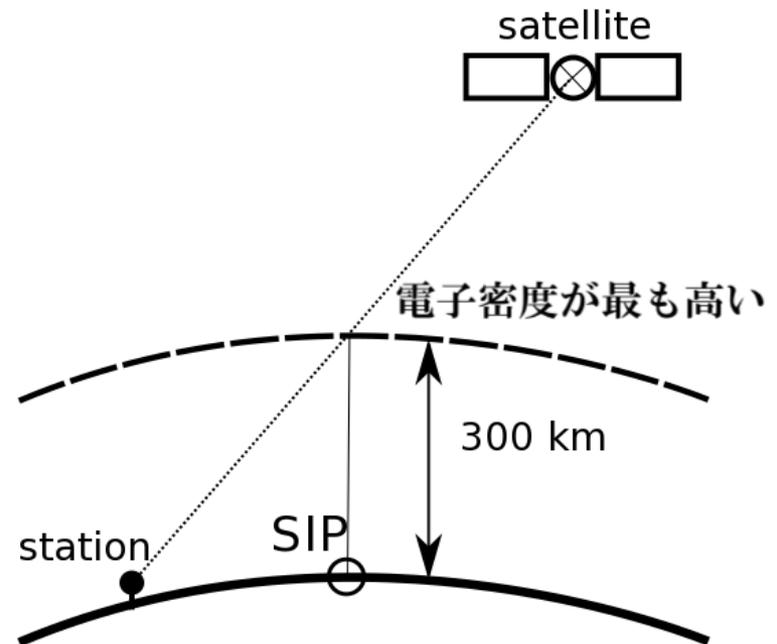
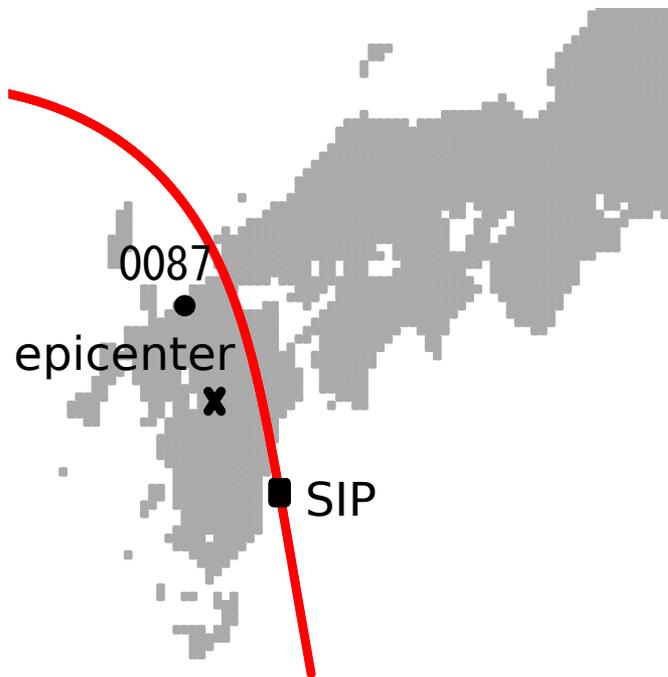
- 地震発生時刻: 05:46
日本時間: 14:46
- 電離圏異常のある観測局が赤で表示される。



2016 熊本地震

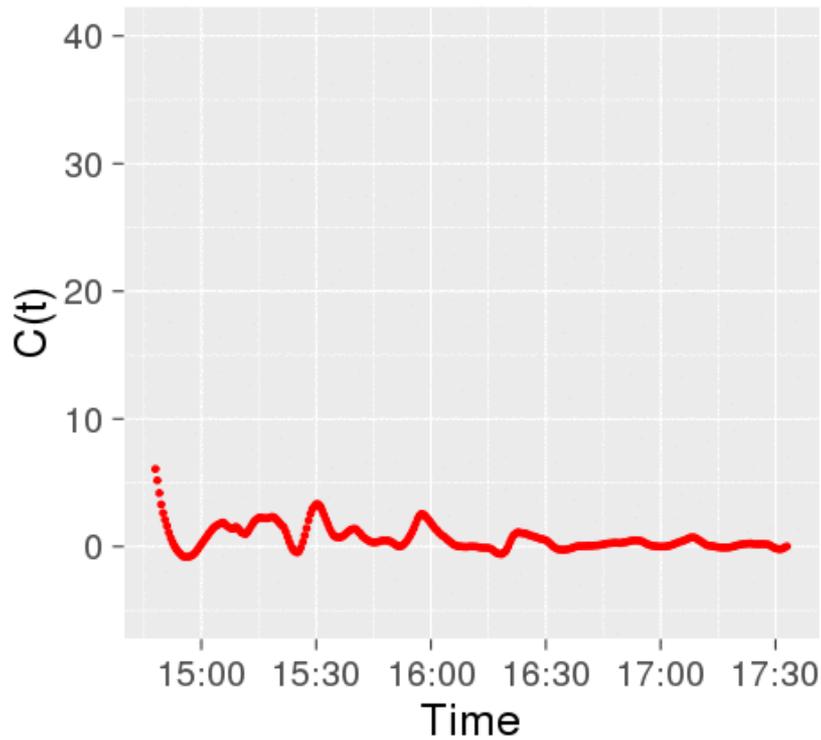
Takuya Iwata and Ken Umeno, *Journal of Geophysical Research* (2017)-

- 本震 : 2016/04/15 16:25 [UT (世界標準時)]
- Mw : 7.3

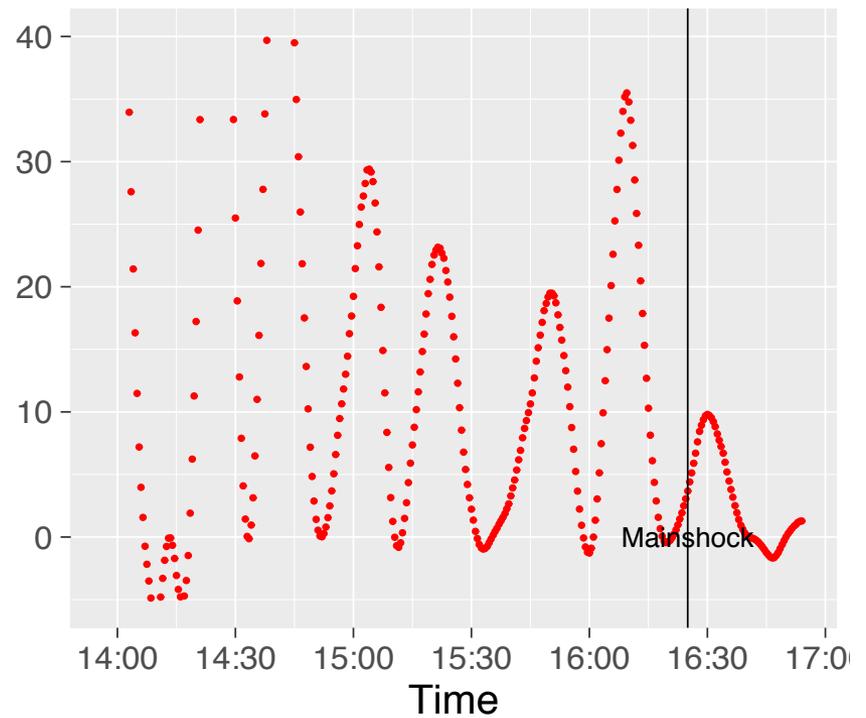


2016 熊本地震

2016/04/07



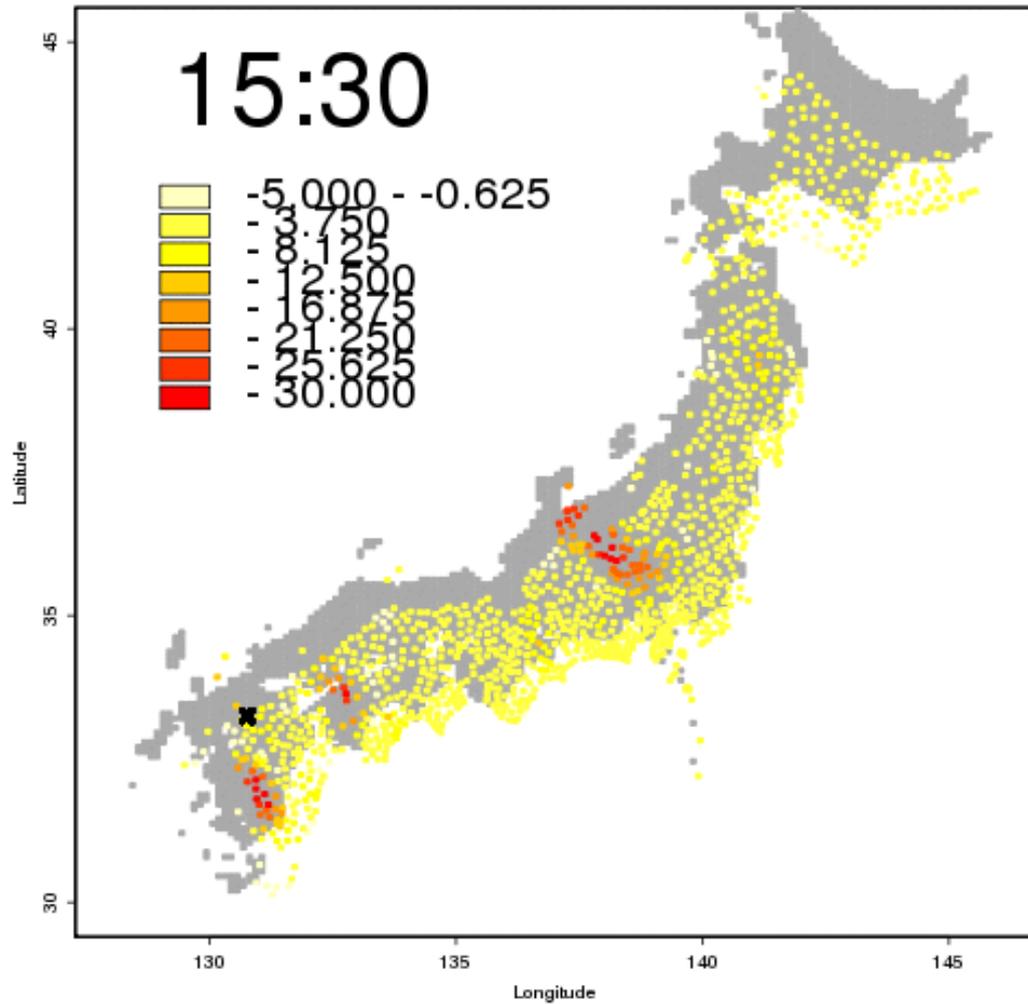
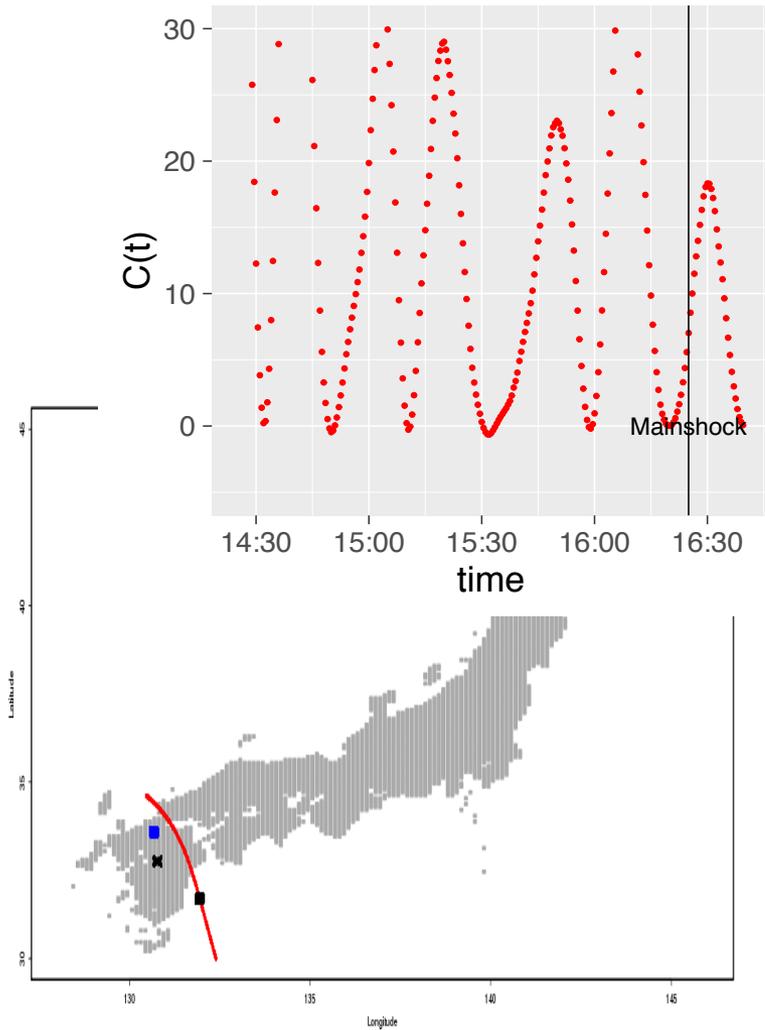
2016/04/15



2016/04/15 熊本地方 (M7.3)

地震発生時刻 16:25 衛星No. 17

2016/04/15



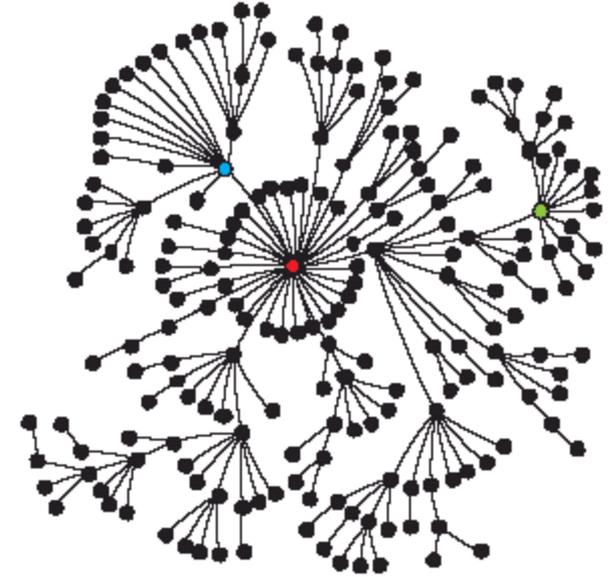
複雑ネットワークの構造とその性質(五十嵐准教授担当)

インターネット、WWW、友人関係、映画の共演関係、共同研究、神経回路網、免疫系、生態系

スケールフリー

1つのノードの持つリンクの数がkの確率 $P(k)$ がkの冪に比例。きわめて多くのノードとリンクを持っているハブの存在

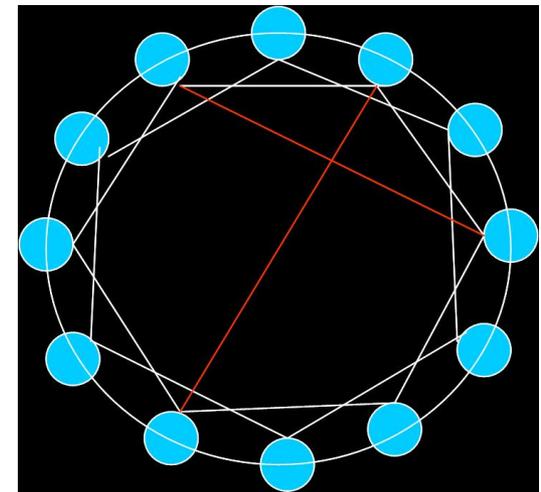
$$P(k) \sim k^{-\gamma} (2 \leq \gamma \leq 4)$$



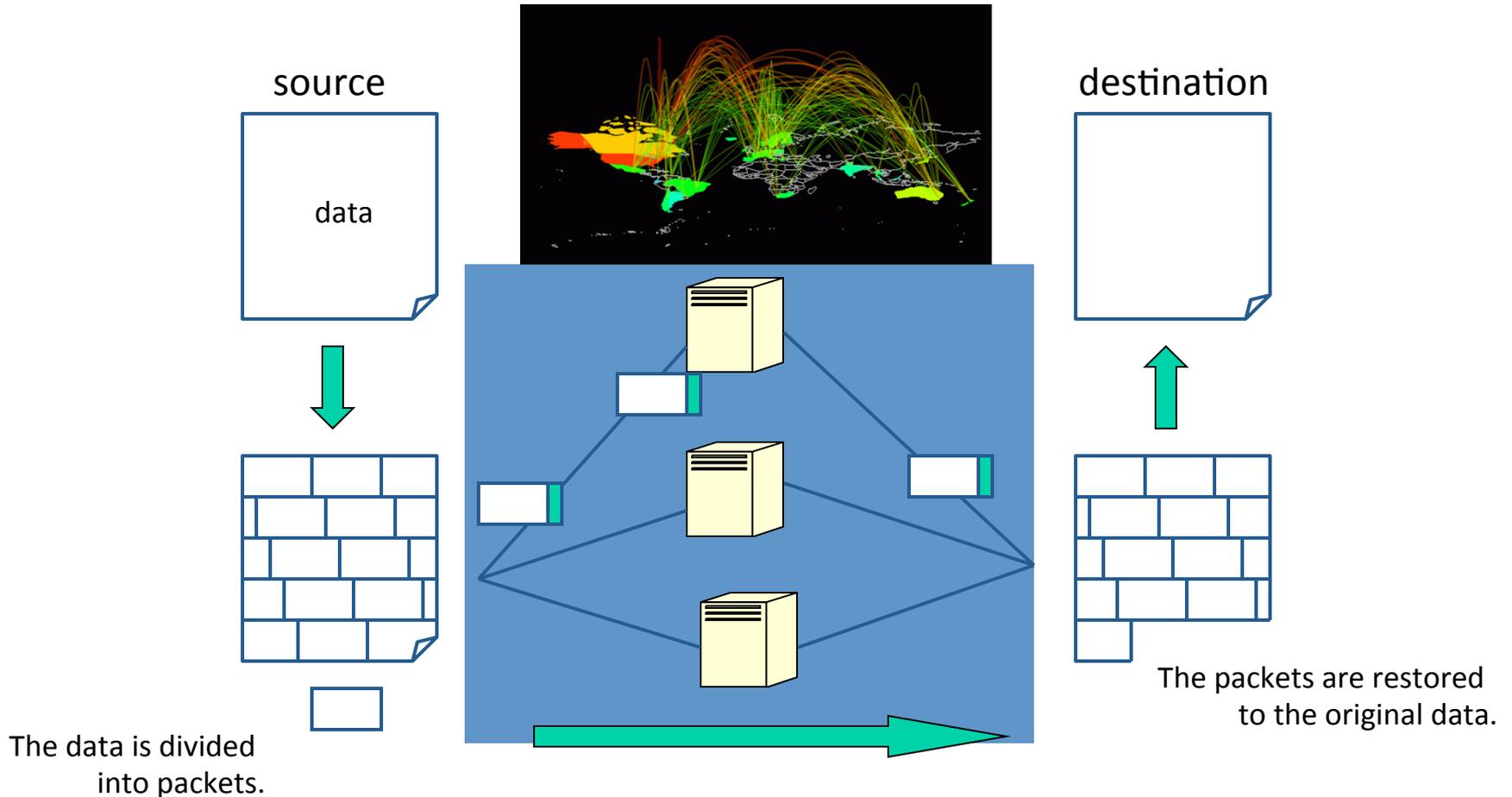
スモールワールド

ノード間の最短距離が短いが、ノード同士は緊密にリンクを張っている。

6 degrees of separation



Packet routing



インターネットはScale-free network

⇒ Scale-free networkではどう転送するのがよいか？

カオスマップを用いた画像暗号化

Permutation の例
(2分割して左右入れ替え)



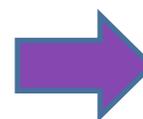
グレイスケール画像

Diffusion の例
(濃淡反転, ネガ)



座標を入れ替え

Permutation



濃淡を変更

Diffusion

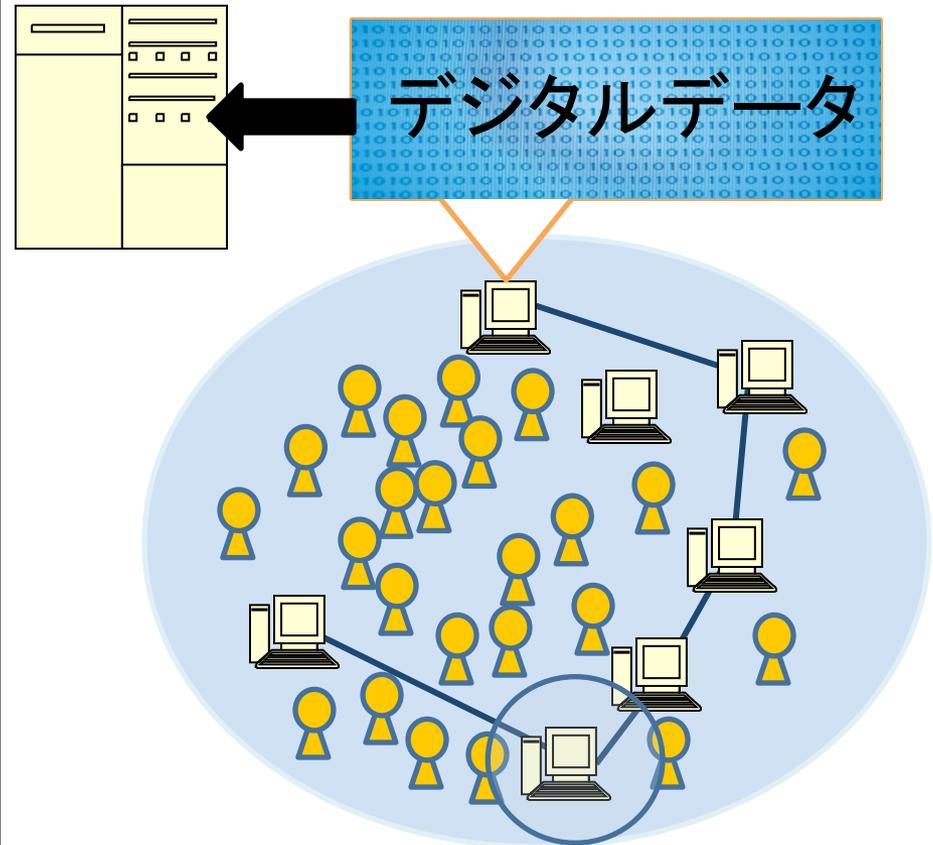
- 本研究の成果:

1. **Permutation** 手法の1つである **baker's map** (カオスマップの1つ)を解析・改良
2. **Diffusion** に **baker's map** のアルゴリズムを応用することで**セキュリティの向上**

経済・社会システムの数理(佐藤助教担当)

経済・社会システムを物質・情報・通貨流通の観点から数理的に調べる

- ・経済・社会データをネットワークで「**集める**」
- ・多様な経済・社会データを「**統合する**」
- ・大量の経済・社会データを「**解析する**」
- ・経済・社会システムを「**モデル化**」する

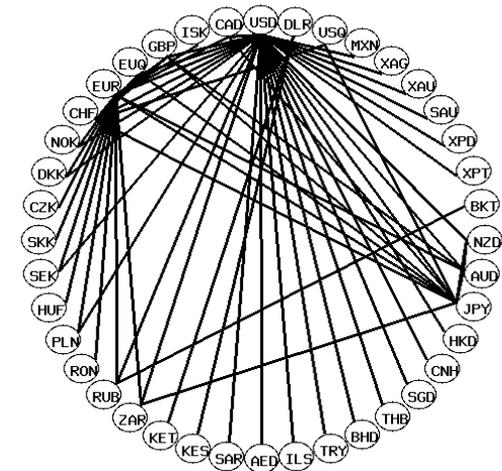
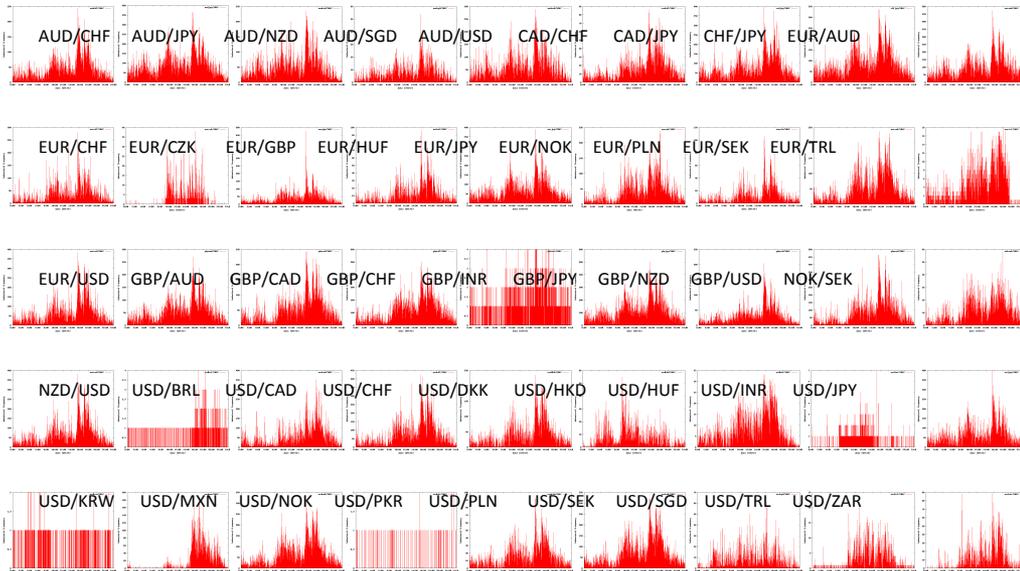


経済・社会システム

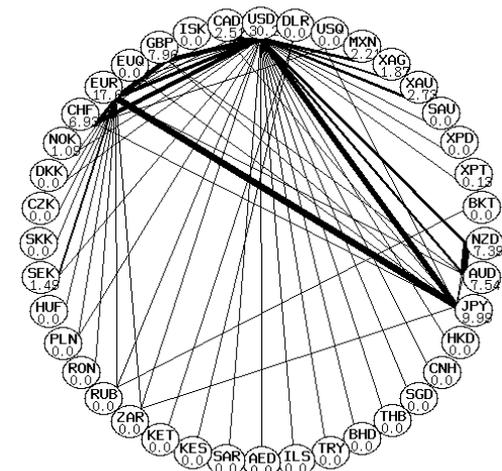
外国為替市場の定量分析

40 currencies, 61 currency pairs

▶ 通貨ペアの注文量の時間変化



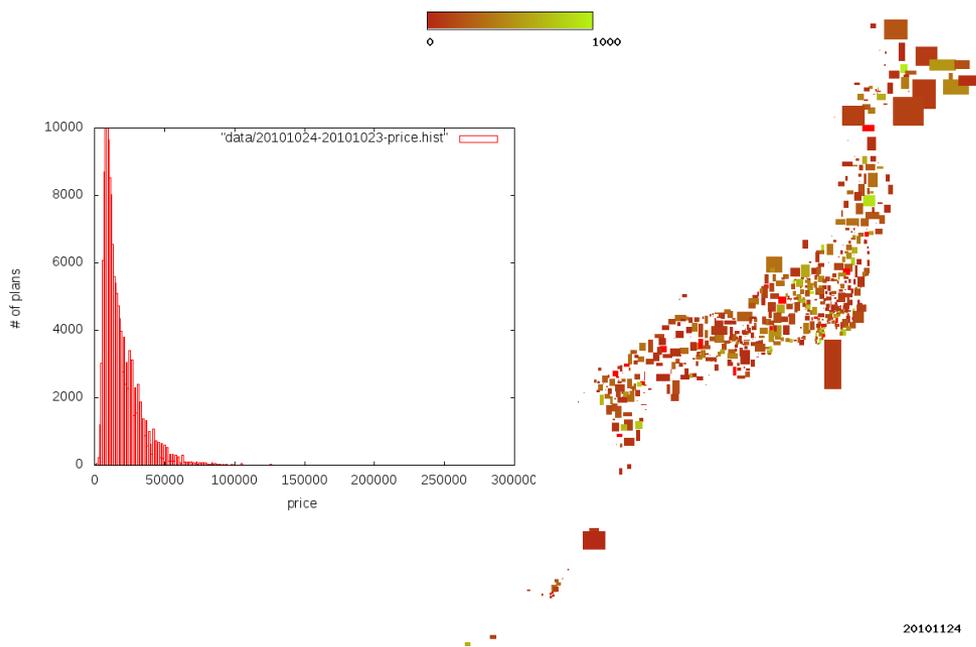
20070528 EUTCJ
Hc = 0.584437946452; Hcp = 0.37405666197



外国為替市場で流通する通貨の取引状況を実データを用いて研究しています

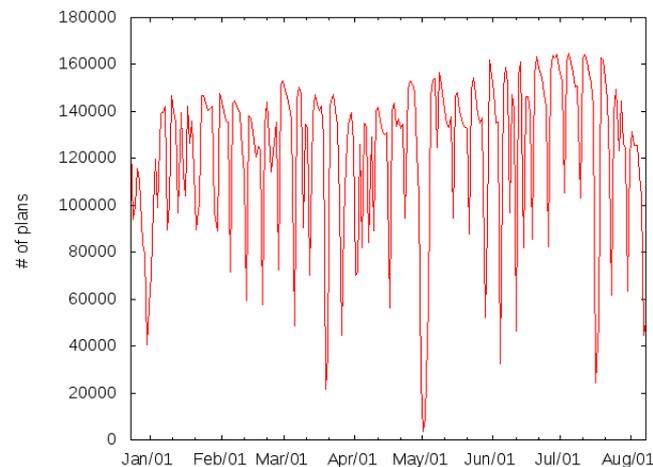
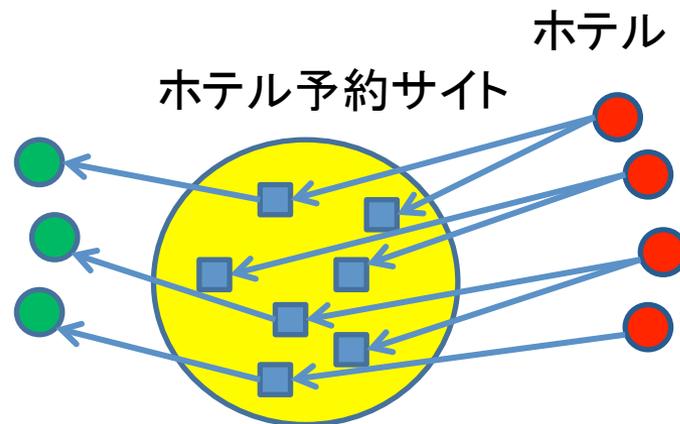
ホテル予約データの定量分析

国内約14,000ホテルから収集された予約可能プランの実データを用いた定量分析をおこなっています



国内の利用可能ホテル分布と価格ヒストグラム

顧客



宿泊可能なプラン数の推移
期間: 2009年12月24日 ~ 2010年8月8日