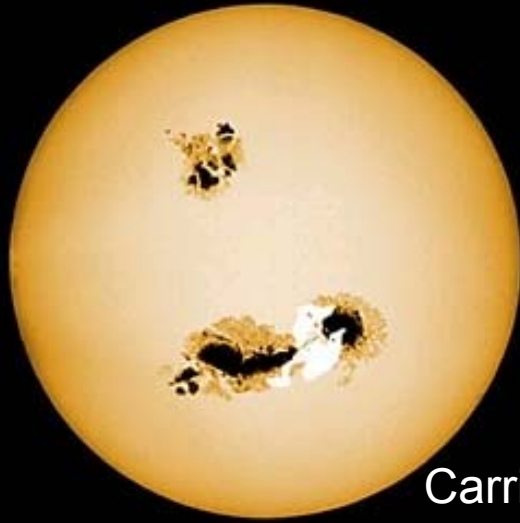
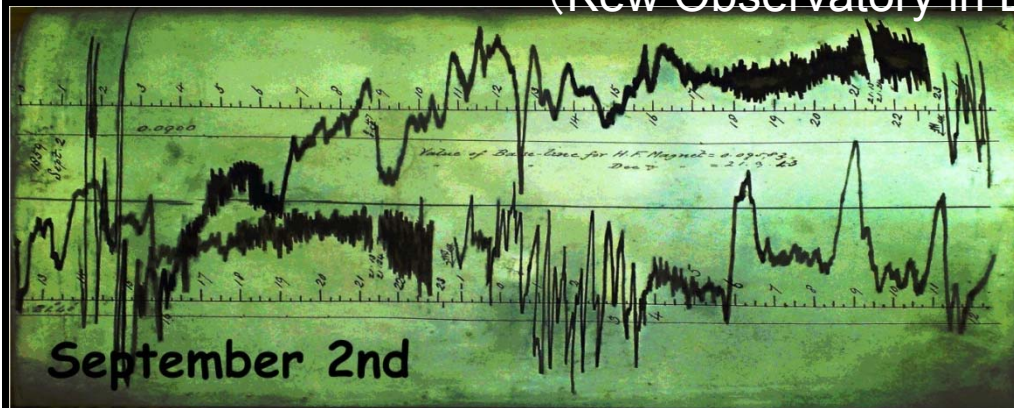


3次元地下電気伝導度分布を用いた 地磁気誘導電場



Virtual drawing of the super flare
of the Sun
After Prof. K. Shibata (Kyoto
Univ.)

Carrington Storm
(Kew Observatory in London)



Damaged transformer by
GIC (USA)



10月 1 日 RISH

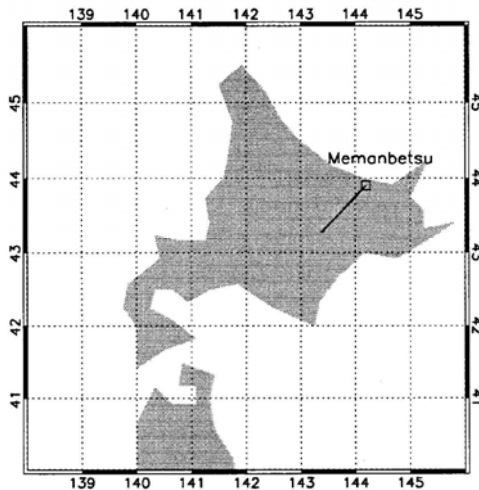
藤田茂・遠藤新（気象大）、藤井郁子（地磁気観測所）

内容

日本におけるGIC推定

- 低緯度に位置する日本でGICを研究する必要があるのか？
- 3次元電気伝導度分布モデルを用いた地磁気誘導電場分布(第2報)
- GIC予測の意味と、それに向けた今後の研究の進め方

NICTのGIC観測 (道東地域)



Watari et al. [2008]

- 最大で3.8A
(48nT/5min MMB,
38nT/5min KAK)
- GICとDの変動が対応

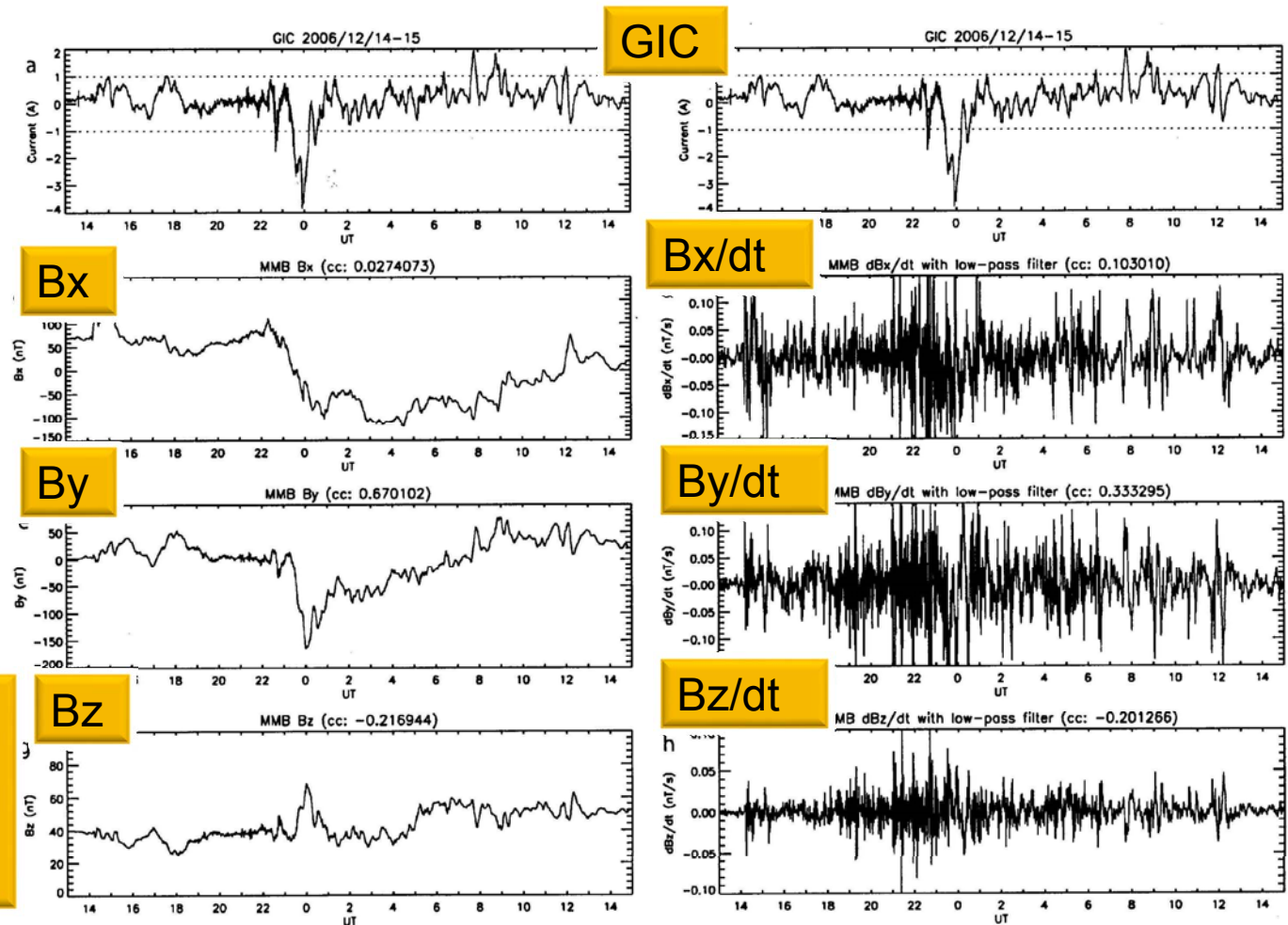
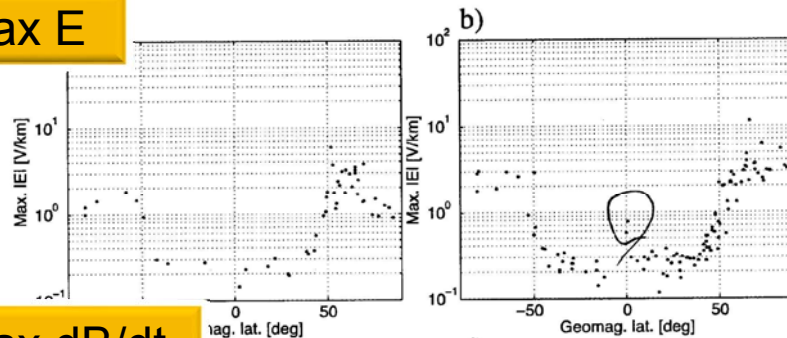


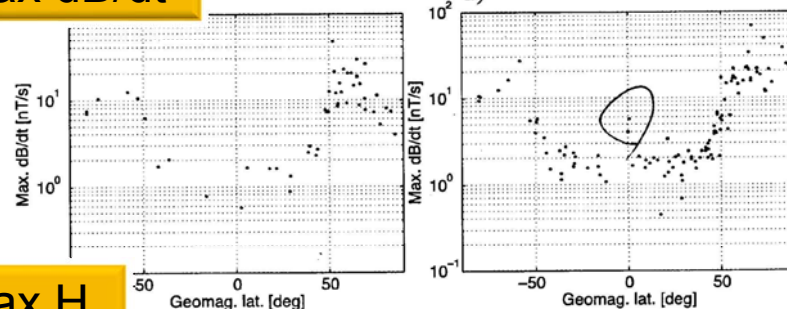
Figure 2. (a and b) GIC event associated with the geomagnetic storm of 14–15 December 2006 and (c) Bx, (e) By, (g) Bz, (d) dBx/dt, (f) dBy/dt, and (h) dBz/dt at MMB.

Pulkkinenの解析 (変動緯度分布)

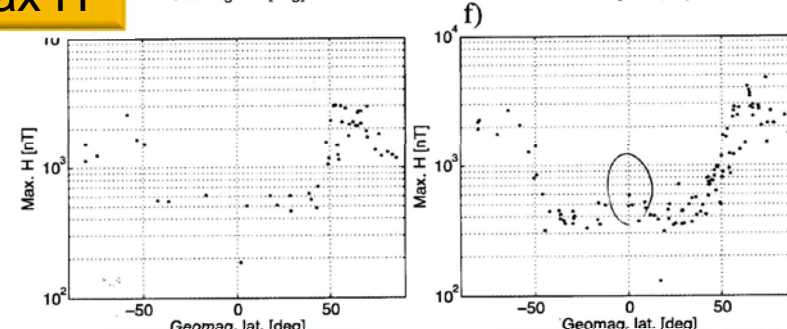
Max E



Max dB/dt



Max H



1989 Mar

Pulkkinen et al. [2012]

- 大規模なイベントを解析
- 誘導電場、磁場変動率、 ΔH は50度を境に高緯度と低緯度で振幅が急変する



日本ではGIC災害は想定しなくてよい？

2003 Oct

日本におけるGIC（地磁気誘導電流）研究をする必要があるのか

- 1989.3.13 カナダ停電災害
- 2003.10.30 スウェーデン（南アフリカも？）停電災害
- 2010.7 HILF報告書(米国)で1989イベントの10倍の現象を想定し全米で停電が起こる可能性を報告
- 2011.3.11 東日本大震災⇒現象想定の見直し
- 日本は低緯度に在るからと言って、GICは影響なしと無視していいのか？
- 日本でも100Aを超えるGICの観測例あり。専任者を置いて常時モニタリングをしている電力会社もある。

やるべきこと

- 巨大GIC推定のために以下の **2つ** のことを同時に進めなければならない。
 - **宙空系物理学および太陽物理学:**
日本における巨大地磁気擾乱の極端値
 - **固体地球電磁気学:**
日本における巨大地磁気擾乱に伴う誘導電場・電流

やるべきこと (固体地球電磁気学)

1. 日本および周辺領域の精密な3次元電気伝導分布
2. 現実的な磁場変動と現実的な地下電気伝導度分布を用いた誘導電場の推定
3. 現実的な送電線網インピーダンスを基にしたGICの推定

日本は世界に冠たる 地下電気伝導度異常帯

- Pulkkinenは50度より低緯度の誘導電場が小さいと言った。ただし一連の研究は誘導電場の推定のために、水平方向に一様な電気伝導度分布を仮定している。 ⇒ 日本には当てはまらない
- 北海道での観測を日本全国に敷衍していいか？
⇒ 特に関東地方は地下がぐちゃぐちゃ。北海道での研究の結果をそのまま日本全体にあてはめるのは無理があるかもしれない。
- 発電所に隣接する変電所は海岸に設置されることが多い。そこでは海岸線効果による誘導電場の増大があり得る。

固体系⇒誘導電流推定の試み

- 送電線に誘起される誘導電流の推定は送電線のインピーダンス情報が必要→電力会社の協力が必要
- 誘導電場の推定なら我々だけで可能
 - 入力：磁気圏・電離圏を流れる電流/磁場変動
 - 媒体：全球での3次元地中電気伝導度分布が必要。特に日本付近では詳細なモデルが必要
- GIC/誘導電場推定の先行研究は水平一様地中電気伝導度分布を利用

誘導電場の計算 (やってることは単純)

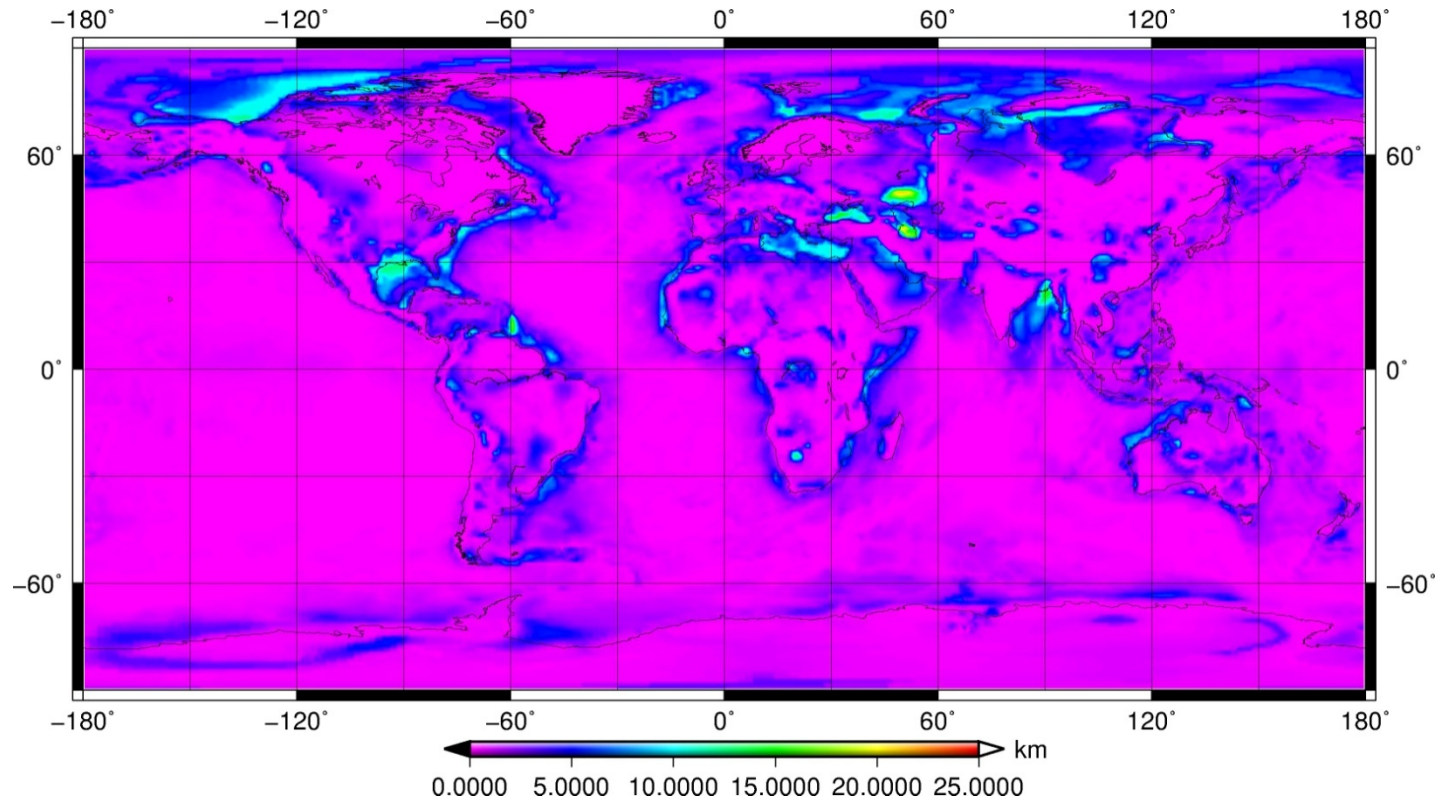
$$\vec{E} = \sigma(\vec{r})\vec{J}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \vec{J}^{ext}(\vec{r}, t)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = i\omega \vec{B}$$

- $r=6\text{Re}$ に J_{ext} として周期変動する西向き電流を入れる。
- 有限差分を用いた緩和法。
Frequency domain。
- 電気伝導度の推定が必須。
 - 現時点では地形データと堆積層の厚さデータを用いて、地中電気伝導度(比抵抗)を無理やり推定：
 - 海水 $0.333\Omega \cdot \text{m}$
 - 堆積層 $10\Omega \cdot \text{m}$
 - 岩石層 $100\Omega \cdot \text{m}$ と $1000\Omega \cdot \text{m}$
 - JEMINI計画の結果が待たれる
- Mackieコードをベースにしてglobalに解く。

電気伝導度推定の基礎データ



海底地形＋陸地地形 (ETOPO1、1分メッシュグローバルデータ)

<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>

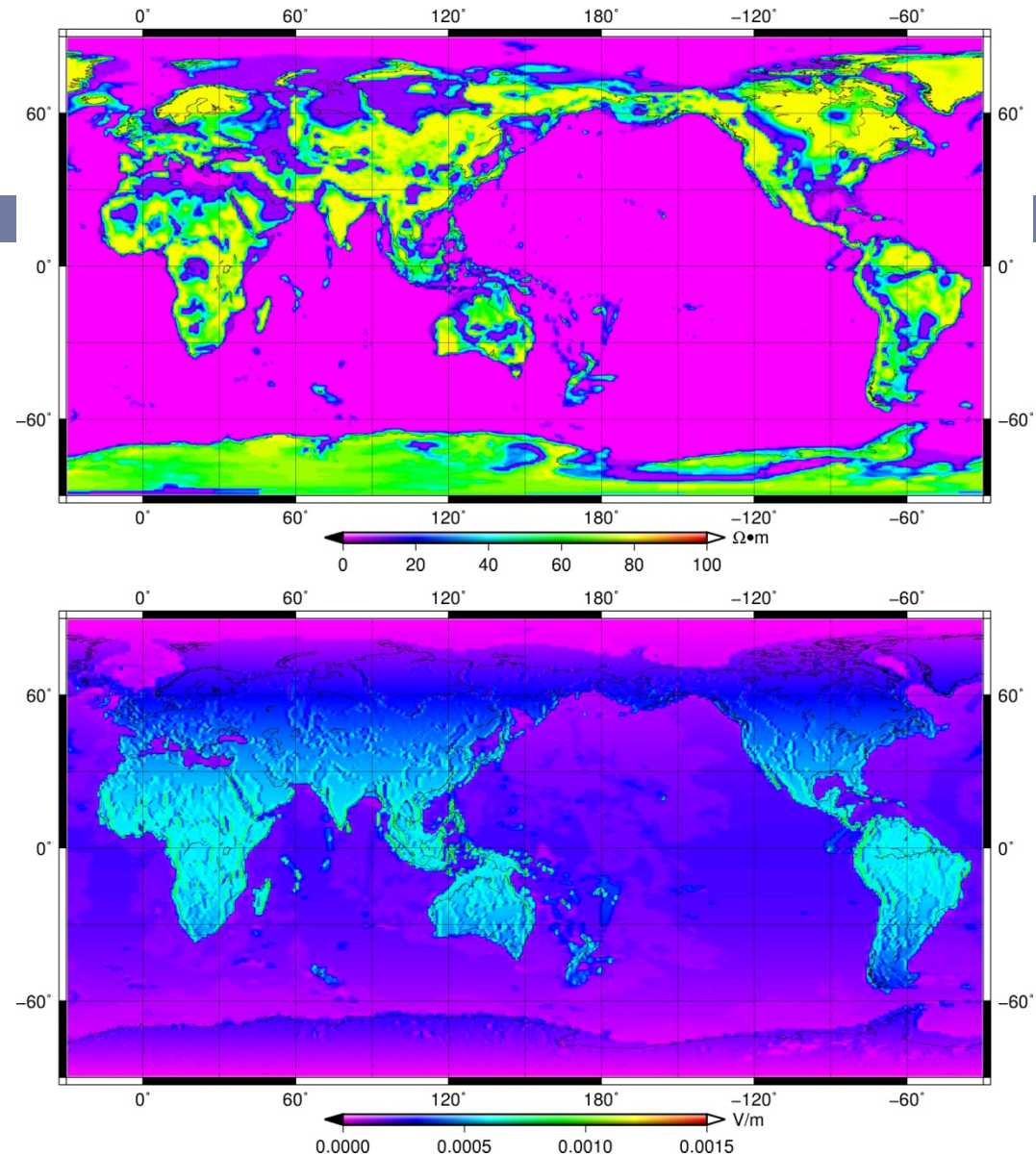
海底＋陸上堆積物の厚さ (1度メッシュグローバルデータ)

<http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/sediment.html>

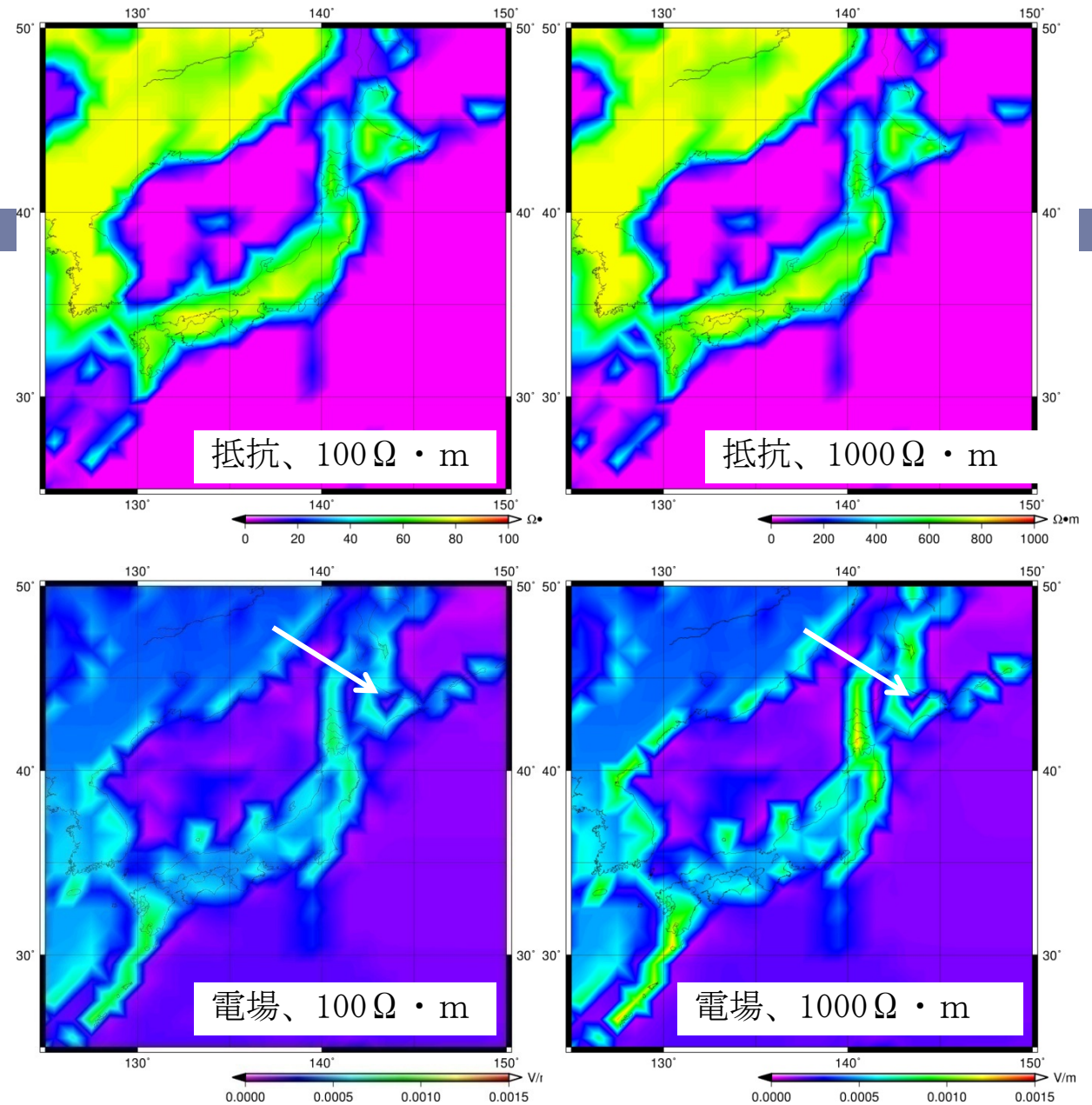
- 全球における(上) 比抵抗分布(深さ2.5kmまでの平均)と(下) 200秒周期のリングカレント変動に対応する誘起電場分布。

- 岩石層の比抵抗は $100 \Omega \cdot m$ 。(200秒変動の浸透深度 $d \sim 70km$)

- メッシュ間隔は1度(全球一様)

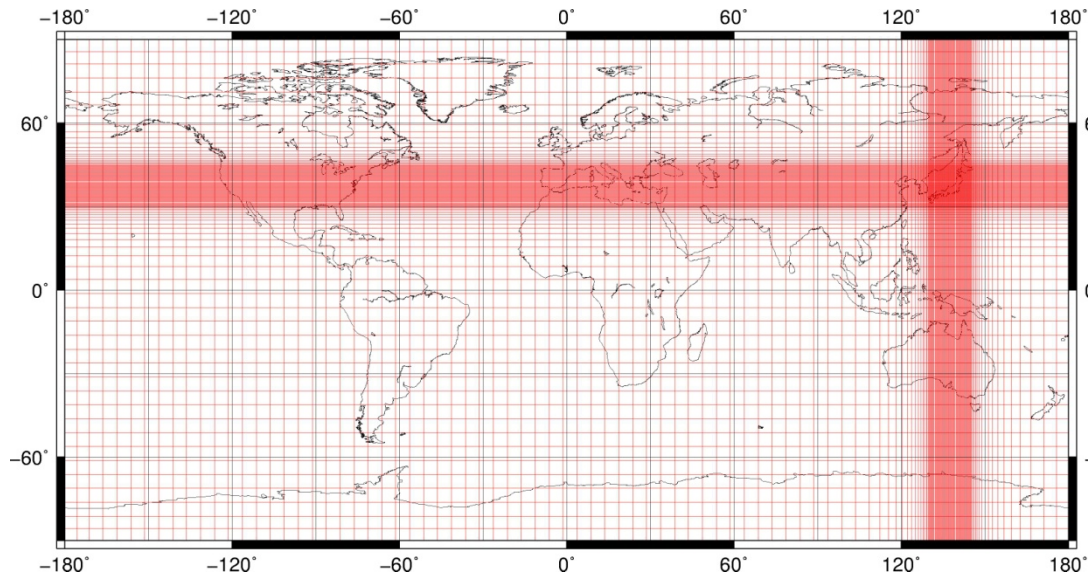


- 日本域での(上) 比抵抗分布(深さ2.5kmまでの平均)と(下) 200秒周期のリングカレント変動に対応する誘起電場分布。
 - 左は岩石層の比抵抗を $100\Omega \cdot m$ ($d \sim 70km$)、右は $1000\Omega \cdot m$ ($d \sim 225km$)にしたもの。
 - メッシュ間隔は1度 (全球一様)。
 - 北海道東部 (女満別付近) で電場が小さい地域がある。



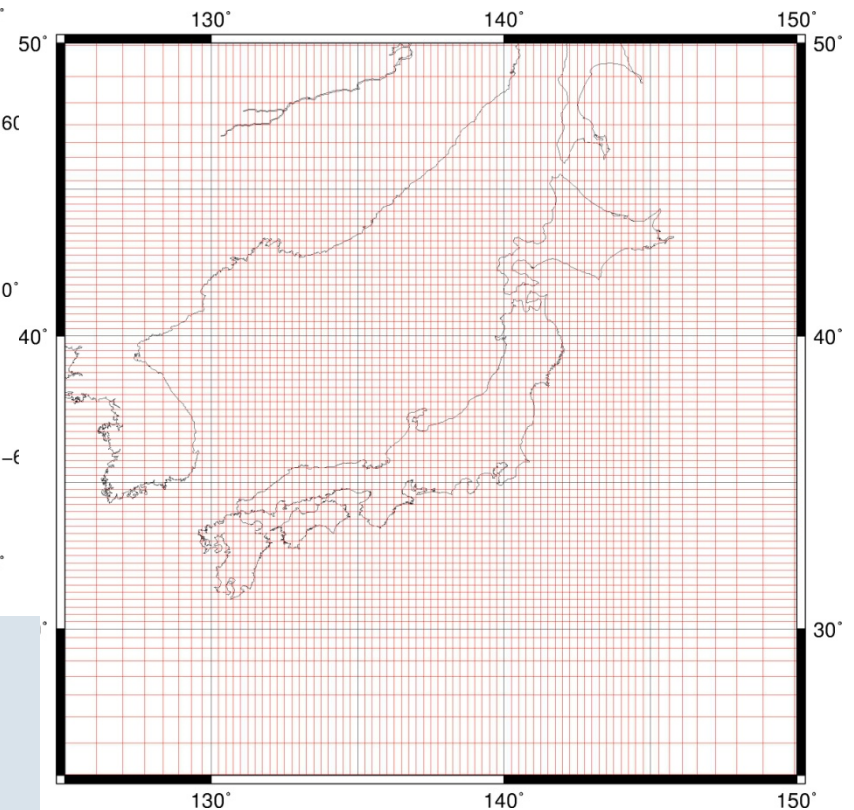
メッシュの改良

等間隔メッシュから日本に集中したメッシュへ



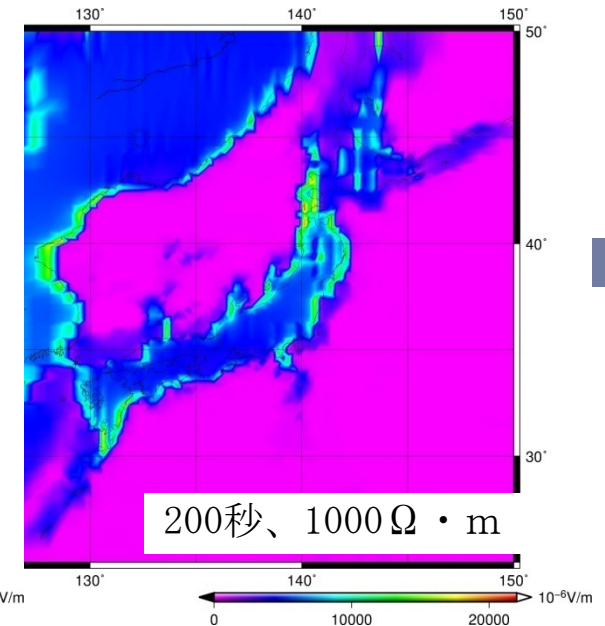
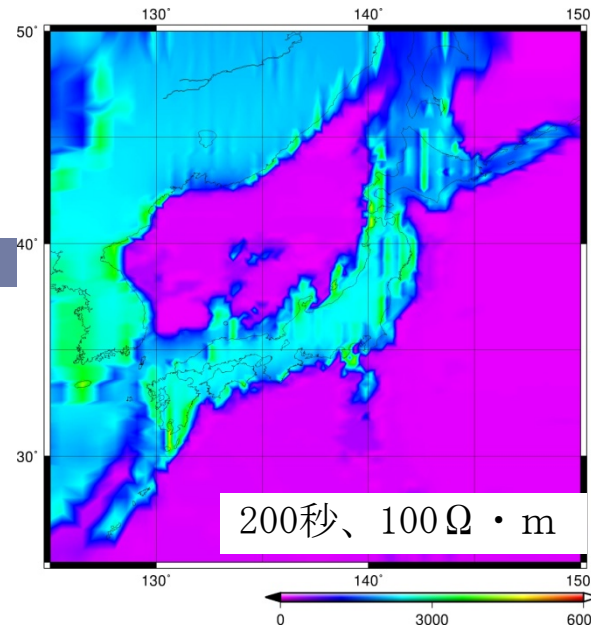
世界分布

日本付近
25 kmメッ
シュ

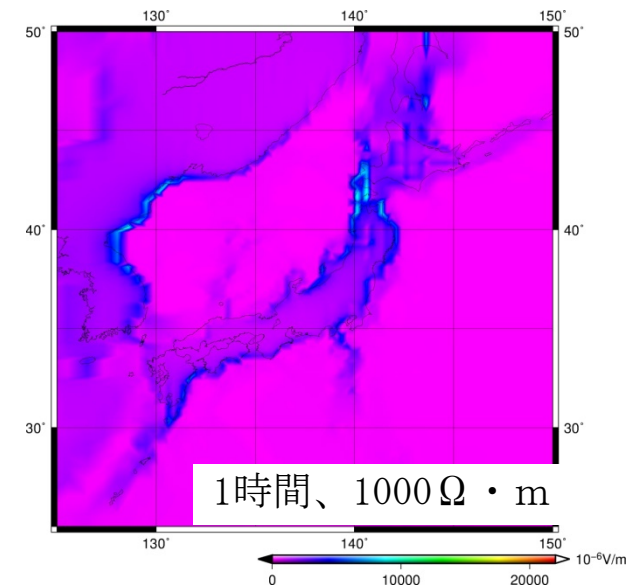


- 非一様メッシュを利用した場合の、日本域でのリングカレント変動に対応する誘起電場分布。(上) 200秒周期(下) 1時間周期。

- 左は岩石層の比抵抗を $100 \Omega \cdot m$ ($d \sim 70km$)、右は $1000 \Omega \cdot m$ ($d \sim 225km$)にしたもの。



- 南北に延びる構造に沿った海岸線効果が顕著
- 北海道東部は電場が小さい傾向がある。
- 渡島半島に大きな電場が発生。岩石層を高比抵抗とすると、電場が顕著に増大
- 九州南端から奄美列島にかけて大きな電場が発生。(鬼界カルデラ域に高比抵抗域があるのか？地質的に疑問) $\Rightarrow$ 推定電気抵抗モデルの限界



GIC予測の意味：防災の観点から

- 予報をユーザがどのように用いるかの理解が必要。
 - 災害をもたらす顕著現象 ⇒ routine operationにとって必要
 - Lead timeが重要
 - 極端現象 ⇒ Infrastructureの設計・BCP
 - 極端値の推定が重要
- 危険性の社会的認識 ⇒ 防災教育・広報活動

今後の問題

3次元非一様場での誘導電場/GIC推定は世界的に見て始まったばかり。

- 極端値の推定 ⇒ 入力擾乱の偏波と周期を変えたデータベースがあれば線形性から大まかな一般論が可能。強度は宙空系からの極端宇宙天気現象研究から得る。
- 入力の空間分布も誘導電場推定に影響を与える。(Jextは時間と場所の関数) ⇒ 極端現象での MHDシミュレーションの活用。
- 日本における現実的な3次元電気伝導度分布が必須。
- 誘導電場からGIC推定には給電業者の協力が必須。

Call-for-papers

- EPS 特集号 “Extremely Severe Space Weather and Geomagnetically Induced Currents in the Regions with Locally Heterogeneous Ground Resistivity”
- 投稿期間：2014年9月まで
- SGEPPSSの宙空系と固体系の融合研究の最初の成果です。太陽・磁気圏・電離圏・電磁誘導・電気抵抗の研究成果がある方は是非！
- EPSはopen access journalです。
- <http://www.earth-planets-space.com/>

END



分野横断の科学

