

イオノゾンデで観測による 地震に先行する電離圏電子数変動の検証 ～空をみて地震の予測が可能か？～

服部克巳^{1,2,3}, 三石幸也⁴, 吉野千恵¹, 劉正彦⁵

1: 千葉大学大学院理学研究院
2: 千葉大学環境リモートセンシング研究センター
3: 千葉大学災害法医学研究所
4: 千葉大学理学部
5: 台湾国立中央大学

内容

- 1 はじめに
- 2 解析手法と結果
- 3 まとめ

2

1 はじめに

電離圏
太陽からの極端紫外線によって電離した高度80-1000 kmの領域
高度約300 kmに電子密度のピークが存在

NmF2
F2層の最大電子密度

電離圏の電子密度高度分布
[恩藤・丸原, 2000]

NmF2は昼過ぎにピークをもつ
規則的な日変動を示す

3

東北地震に起因する電離圏変動の3次元構造 (地震動と津波) 2011031105h46mUT

Time-height distribution of Ne disturbances generated by Tohoku Earthquake at 36°N, 135°E

Time-height distribution of Ne disturbances by AGW simulation at 35°N, 140°E

(Song 2022)

仙台上空のGIM-TEC* 変化 (after Hirooka et al., 2016)

3/7:16-18 LT, 3/7:20 LT - 3/8:16 LT (20 hours duration)

Mw 7.3

GPS衛星による電離圏電子数変動と地震との関連性の解析

統計解析 地震との有意相関

✓ 距離依存性
✓ マグニチュード依存性

3次元電離圏トモグラフィ

Hirooka et al., Radio Sci., 2012. 廣田らREI2016

前兆性の評価

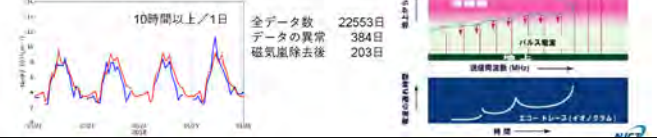
24/87
PG=1.57

Kon et al., JAES, 2011

2 解析手法

使用データ

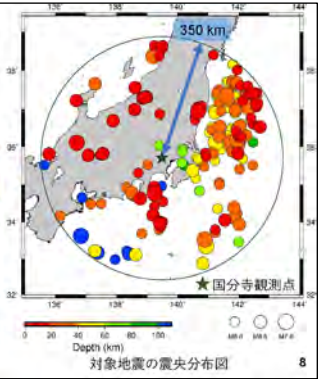
- イオノゾンデデータ
 - 情報通信研究機構 (NICT) が運用する国分寺観測点の 1958年-2019年のデータ
- 地震データ
 - 1958年-2019年の気象庁の地震カタログ
- Dstデータ
 - 地磁気世界資料センター京都 (WDC for Geomagnetism, Kyoto) のDst指数確定値 (1958-2014) とDst指数暫定値 (2015-2018)



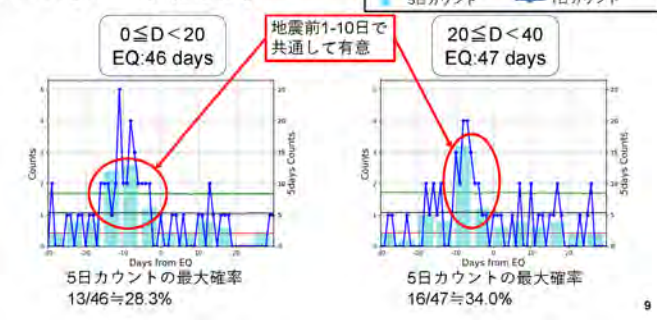
SEA [深さ(D)比較]

期間：1958/01/01-2019/09/30 (22553日)
 範囲：国分寺観測点から震央距離350 km以内
 マグニチュード：M \geq 6.0

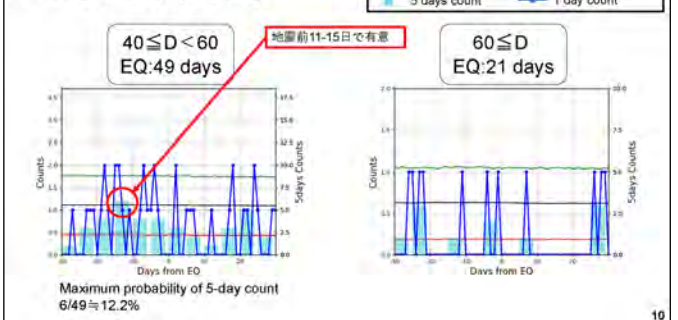
深さ [km]	地震発生日数	地震数
0 \leq D<20	46	62
20 \leq D<40	47	63
40 \leq D<60	49	55
60 \leq D	21	21
計	147	195



SEA [深さ(D)比較]



SEA [深さ(D)比較]



SEA [深さ(D)比較]

5日カウントで地震前に有意となった日とその最大確率

深さ [km]	有意な異常発生日	最大確率
0 \leq D<20	1-15日前	13/46 (28.3%)
20 \leq D<40	1-10日前	16/47 (34.0%)
40 \leq D<60	11-15日前	4/49 (12.2%)
60 \leq D	—	—

- 40 km以浅のおよそ3割の地震で先行する有意な異常が共通して1-10日前に見られた
- 40 \leq D<60の地震では異常の発生率が低く、より浅い地震で共通していた1-10日前では有意ではなかった

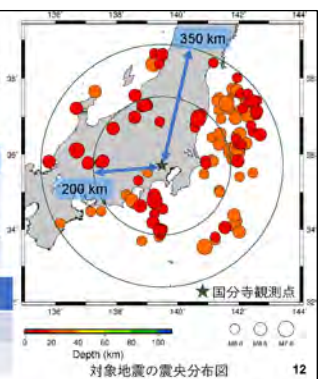
11

SEA [震央距離(R)比較]

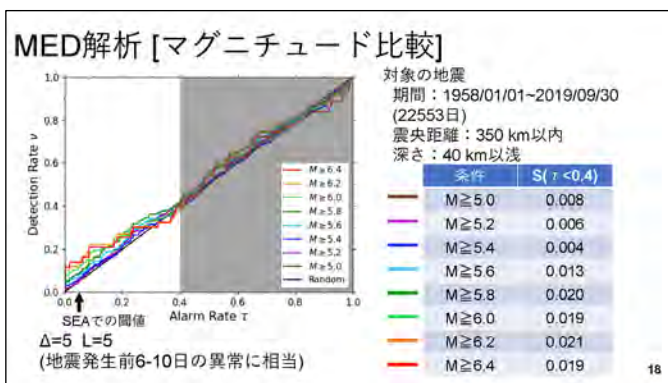
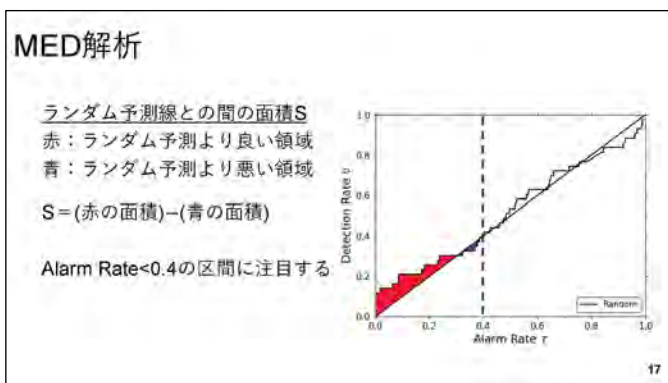
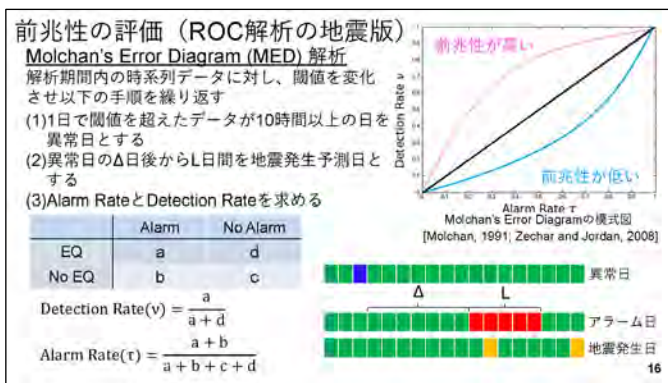
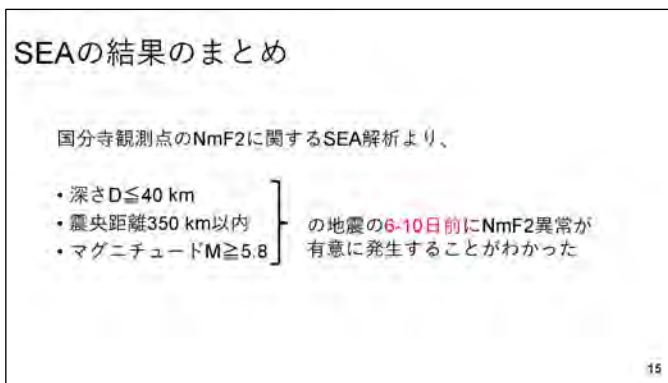
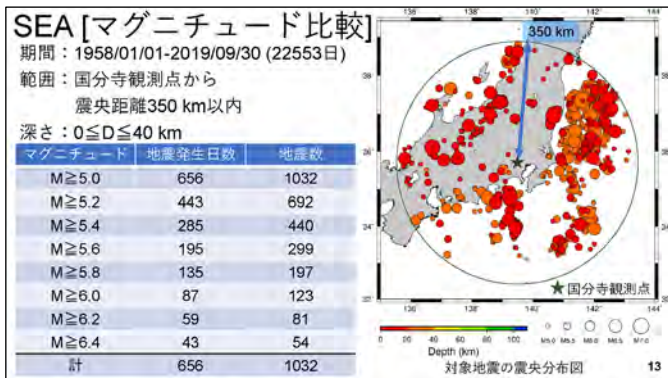
期間：1958/01/01-2019/09/30 (22553日)
 マグニチュード：M \geq 6.0
 深さ：0 \leq D \leq 40 km

震央距離 [km]	地震発生日数	地震数
0 \leq R<200	40	46
200 \leq R<350	50	77
計	87	123

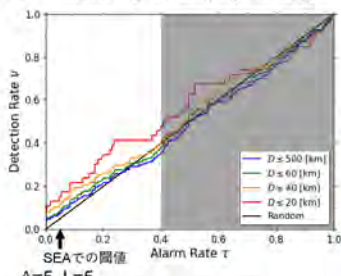
Epicentral distance [km]	Lead time	Max. probability
0 \leq R<200	6-15 days before	15/40 (37.5%)
200 \leq R<350	1-10 days before	14/50 (28.0%)



12



MED解析 [深さ(D)比較]



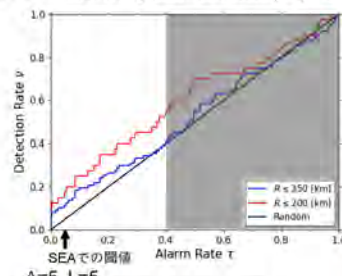
対象の地震
 期間：1958/01/01~2019/09/30
 (22553日)
 震央距離：350 km以内
 マグニチュード：M ≥ 6.0

条件	S($\tau < 0.4$)
D ≤ 20 km	0.043
D ≤ 40 km	0.019
D ≤ 60 km	0.008
D ≤ 500 km	0.002

$\Delta=5$ L=5
 (地震発生前6-10日の異常に相当)

19

MED解析 [震央距離(R)比較]



対象の地震
 期間：1958/01/01~2019/09/30
 (22553日)
 深さ：40 km以浅
 マグニチュード：M ≥ 6.0

条件	S($\tau < 0.4$)
R ≤ 200 km	0.053
R ≤ 350 km	0.019

$\Delta=5$ L=5
 (地震発生前6-10日の異常に相当)

20

MED解析

NmF2に最高感度の地震を探す（検出確率最大となる最適な組合せ）

- 対象地震の条件（マグニチュード・震源の深さ・震央距離の閾値）
- 異常の先行時間（ Δ ）
- 地震の警告期間（L）

のパラメータの取り方を調査する

21

MED解析

- ランダム予測線に対する確率利得PG (Probability Gain)

$$PG = (\text{Detection Rate}) / (\text{Alarm Rate})$$

Alarm Rateが小さい場合PGが非常に高くなるため、Alarm Rate > 0.1の範囲に注目する

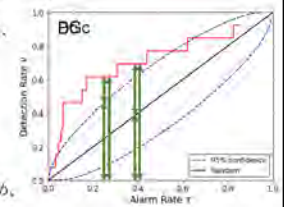
- ランダム予測線との差D (Difference)

$$D = (\text{Detection Rate}) - (\text{Alarm Rate})$$

- 95%信頼区間に対する確率利得PGc

Alarm Rateが小さい場合PGcが非常に高くなるため、Alarm Rate > 0.05の範囲に注目する

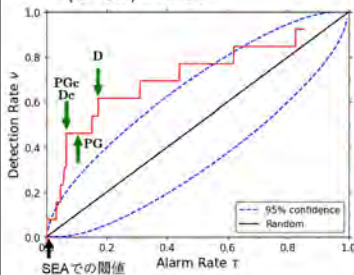
- 95%信頼区間との差Dc



22

MED解析

$$S(\tau < 0.4) = 0.127$$



最適なパラメータ

震央距離：200 km以内
 マグニチュード：M ≥ 6.4
 深さ：20 km以浅
 先行時間： $\Delta = 10$ 日
 警告期間：L = 1 日
 (地震発生前11日の異常に相当)

利得または差	Alarm Rate	Detection Rate
PG	4.61	0.10
D	0.44	0.17
PGc	2.29	0.07
Dc	0.26	0.07

23

3 まとめ

- NmF2はマグニチュードM ≥ 5.8, 深さ40 km以浅, 震央距離350 km以内の地震の6-10日前に有意な異常を示す
- 地震のマグニチュードがより大きいほど、より震央距離に近いほど地震の検出率が高まる
- NmF2異常は対象の地震がより浅いほど、より震央距離に近いほど、よりマグニチュードが大きいほど前兆性が良い
- マグニチュードM ≥ 6.4, 深さ20 km以浅, 震央距離200 km以内の地震が、NmF2異常検出した11日後に発生するという予測戦略が、地震からみる検知率は50%と最も高くなる。データ異常からすると、約10%にとどまる。
- 空をみて地震の予測はできるか？

24