

【東日本大震災に関する研究報告】

地震発生予知に向けた電波伝搬変動検出の検討

一東日本大地震前後の電波伝搬変動について一

日大生産工 ○田中 將義, 日大生産工(院) 中村 祐太

1. まえがき

2011年3月11日に発生したM9.0の東日本大地震とそれに伴って発生した津波、及びその後の余震により甚大な被害をもたらした。

地震発生前に、異常電磁波の発生や電波伝搬の変動が観測されており、これらを検出することで地震発生を予知する研究が行われている⁽¹⁻⁷⁾。地震発生の数日から数週間程度前に地震を短期予測することを意図しており、日本のような地震国では、地震予知ができれば人的損失を著しく軽減でき、防災の観点からも大変重要である。

筆者等は、この短期予測としての地震予知を目指して、数年間にわたり長波(LF)、中波(MF)、超短波(VHF波)帯の電波伝搬変動の観測を続けている⁽²⁻⁶⁾。

本論文では、電波伝搬変動検出法を提案し、これに基づいて3月11日の地震発生前後の状況及び地震予知の可能性について検討した結果を報告する。

2. 電離層と電波伝搬変動について

電離層は高度約60kmから500kmの間に位置している。窒素や酸素などの原子や分子は、太陽光線などの宇宙線からエネルギーを吸収し、電子を放出しイオンとなる。この電離状態であるイオンと電子が存在する領域が電離層である。大気に入った宇宙線は、次々

と原子や分子に吸収されていくため、繰り返し電離が生じ電子密度の高い状態となっている。電子密度は日中太陽高度とともに増加し、夜間は消滅する。そのため、受信波形は日中に受信レベルが減少し、日没後は受信レベルが上昇する性質を持つ。また、季節により日照時間が大きく異なる。

電波伝搬はこの電離層の状態変化により変動する。

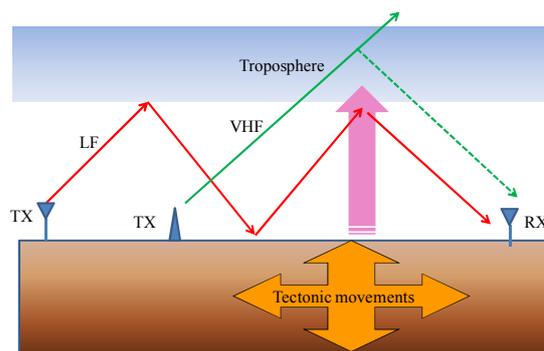


Fig. 1 Relation between troposphere change and wave propagation change

3. 地震と電波伝搬変動の関連について

地震発生と電離層変化の因果関係については、種々の仮説がある。一つは、地震前に地下からラドンの放出により、電離層に擾乱が引き起こされるという説。あるいは大気の変動により、電離層のプラズマ状態が変動する等が想定されているが、いずれも確認されていない状況である。

4. 観測システム

電波伝搬変動を観測する電波については、

**Study on Earthquake Forecast using Electromagnetic Wave Propagation Fluctuation
-Propagation Fluctuation before and after Great Eastern Japan Earthquake-
Masayoshi TANAKA and Yuta NAKAMURA**

超低周波からVHF帯が考えられる．本研究では，観測が容易な長波(LF), 中波(MF), 超短波 (VHF) を選択した．

Table 1に観測している周波数，送信局と送信場所を示している．国内外の放送波，標準電波，航空無線標識用電波等を受信している．

Fig. 2に送信局と受信点の位置関係を示す．

Table 1 Frequencies and locations of measured waves.

周波数	送信局	場所
40 [kHz]	標準電波発射局	福島
60 [kHz]	標準電波発射局	佐賀
80 [kHz]	標準電波発射局	Canada
100 [kHz]	ロランC	全世界
194 [kHz]	航空無線標識局	釧路
295 [kHz]	海上無線標識局	全国
85.7 [MHz]	FM放送	北九州
88.5 [MHz]	FM放送	釧路

5. 解析手法

地震の発生がない平穏時には電波伝搬変動はFig. 3に示すように，主として太陽の影響を受け，昼間と夜間でレベルの異なる日変動を示す．しかし，地震発生の数日前に，Fig. 4に示すように，この変動パターンが変化する．そこで，この変動を精度よく検出することが地震発生の前兆を捉える上で重要となる．さらに，このプロセスを自動化する検討を行った．

本研究では，Fig. 5に示すように正常時の日変動パターンと受信データの日変動パターンとの相関を取り，変動変化を精度よく検出する手法を提案した⁽⁴⁻⁷⁾．



Fig.2 Transmitting stations used for measurement.

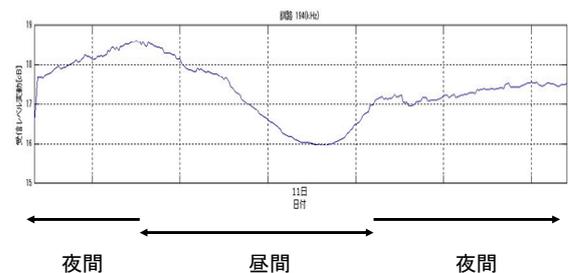


Fig.3 Daily normal change of received signal level due to ionosphere fluctuation.

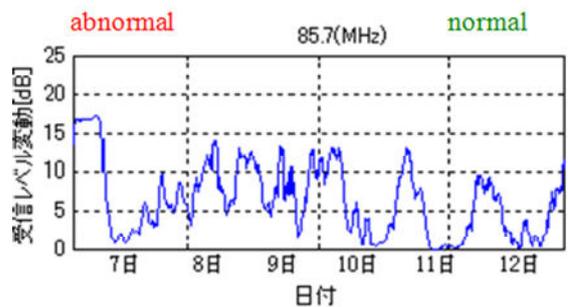


Fig. 4 Earthquake portent (left side) and normal condition.

解析に用いた相関値を算出する式を以下に示す．季節により日照時間の変化を考慮するために時間差 τ を用い，相互相関を求めている．

$$\phi(\tau) = \int_{t_1}^{t_2} x(t)y(t+\tau)dt / \left(\overline{x(t)^2 \cdot y(t)^2} \right) \quad (1)$$

(x : 基準値, y : 測定値, τ : 時間遅延
 $\overline{x^2}$: 基準値の二乗平均, $\overline{y^2}$: 測定値の二乗平均)

$\phi(\tau)$ は-1から+1の値をとる. そこで視覚的に変動を分かりやすく表示するために以下の式に変換した.

$$c = 1 - \phi(\tau_m) \quad (2)$$

Fig. 6にアルゴリズムのflowを示す. データを取得後, 平滑化処理を行い, 特徴抽出を行っている. その後, 正常時の値と測定データの間で時間差 τ を変えて相関を取り, 相関値の最大値 (正常に近いもの) を選択している.

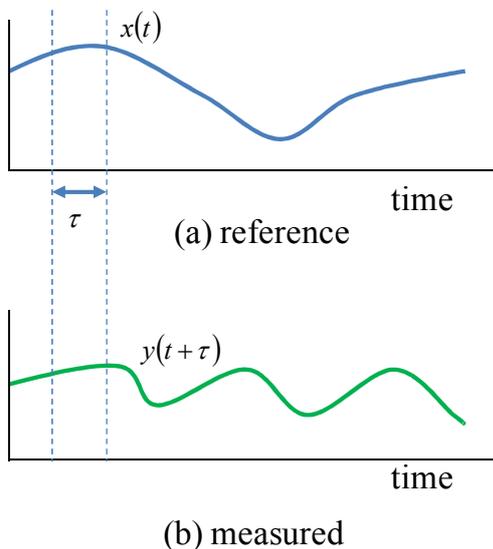


Fig.5 Correlation between reference and measured data.

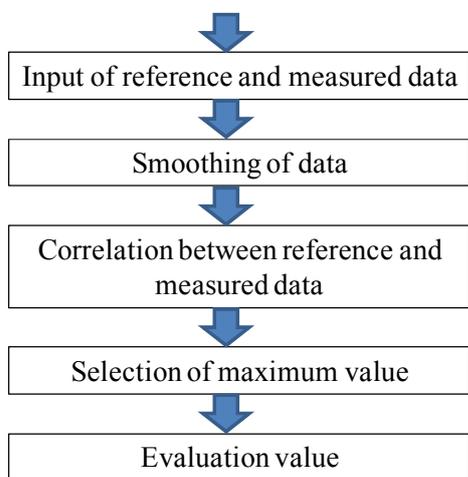


Fig.6 Algorithm of detecting propagation change.

6. 地震発生前後の電波伝搬変動の状況⁽⁷⁾

5. で示したアルゴリズムを用いて, 東日本大地震発生前後の評価値を考察した. 三陸上空の電離層の状態を反映していると思われる釧路から送信されている航空無線標識局の194 [kHz]の評価値のトレンドをFig. 7 に示す.

地震の4日前の2011年3月7日に大きな電波伝搬変動が観測されている. 同様の変動がその他の電波についても観測された.

その後, 引き続き評価値の変動が観測されており, 余震の発生等に見られるように安定していない状況を示している. Fig.8は前年の2010年8月の同じ波を観測した結果である. Fig.7の同時期と比較すると, 地震発生後5か月後でも引き続き電波伝搬状態が大きく変化していることが分かる.

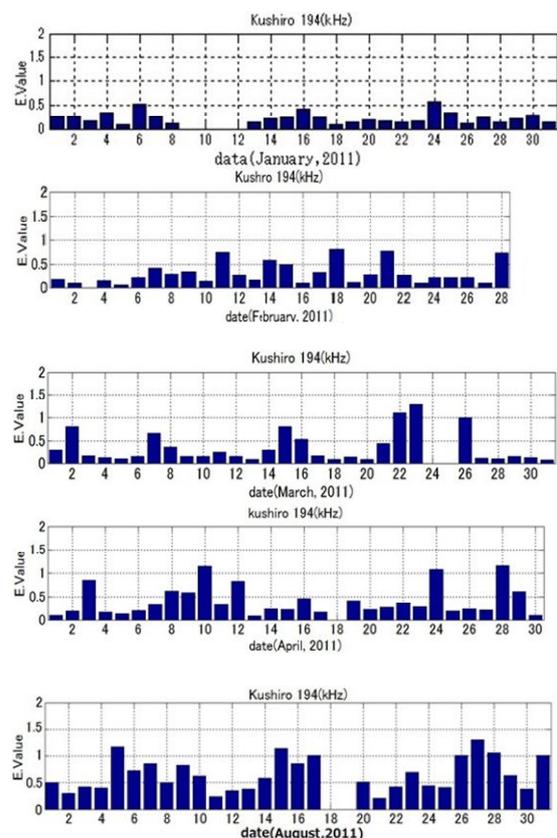


Fig.7 Trend of evaluation value C (2011).

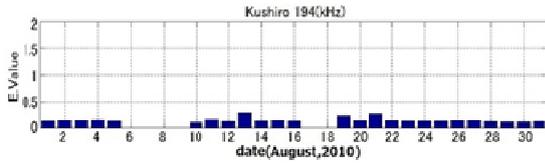


Fig.8 Trend of evaluation value C (2010).

7. 電離層に影響を与える他の要因

電離層の状態に影響を与える他の要因として、太陽活動の変動と地磁気の変動がある。地震の前兆検出には、これらを考慮しなければならない。

そこで、前述した相関係数に基づく評価値の変動が、地震の前兆以外の変動に基づくものか否かを判断するために、他の要因の影響を考察した。

地磁気の変動については、気象庁地磁気観測所のk指数日合計を参照した。また太陽活動の変動については、NICT(情報通信研究機構)が発表している黒点相対数を参照した。

東日本大地震に関して前兆と考えられる評価値とこの両者の要因の変動との相関を調査した結果をFig. 9に示している。いずれも、相関値は0.5以下であり、検出された変動と地磁気、黒点変化との相関は小さい判断できる。

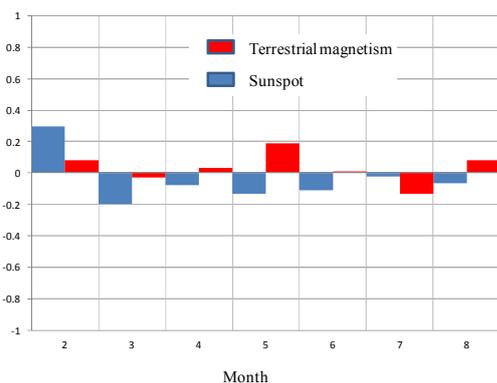


Fig.9 Correlation between evaluation values and terrestrial magnetism and sun activity(spot).

8. 統計データ

本年1月から9月に日本周辺で発生したマグニチュード5以上の大規模な地震を対象として、

変動評価値を調査した。評価値が0.5以上を変動あると判断した時に、マグニチュード5, 6, 7以上について、それぞれ地震発生を検出できた割合を調査した。この結果をTable.2に示す。マグニチュードの値が大きいほど、検出割合が大きくなり、マグニチュード7以上では、すべての地震発生前に、前兆が観測・検出されている。

Table 2 Detection rate of earthquake portents.

Magnitude	Number of incident	Number of detection	Ratio
$5 \leq M < 6$	307	212	0.69
$6 \leq M < 7$	60	42	0.70
$7 \leq M$	10	10	1.0
Total	377	264	0.70

9. まとめ

地震発生の前兆を捉えて、短期的な予知を行うことを目的として電波伝搬の変動を検出する検討を進めている。開発したアルゴリズムに基づき、3月11日に発生した東日本大地震の前後の電波伝搬変動を解析した結果を示し、地震の前兆ならびにその後の状況を示した。そして本年に発生した地震の前兆検出確率を調査した結果、M7.0以上の大きな地震の発生をすべて検出、M5.0以上では約70%の確率で検出できることを示した。

参考文献

- (1) 早川正士, 地震電磁気現象の計測技術の研究動向, 信学誌, B Vol. J89-B, No. 7, pp. 1036-1045, 2006
- (2) 金太郎井紳, 田中將義: 第40回日本大学生産工学部学術講演会, 2-27(2007)
- (3) 宮澤達博, 田中將義: 第40回日本大学生産工学部学術講演会電気電子部会講演概要, 2-28(2007)
- (4) 中村祐太, 田中將義: 学術講演会, 電気電子部会, 2-12(2010)
- (5) 中村祐太, 田中將義: 信学会総合大会, B-1-38, p. 38(2011)
- (6) 中村祐太, 田中將義: 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-3, (2011)
- (7) 中村祐太, 田中將義: 学術講演会, 電気電子部会, 2-37(2011)