

## 東日本大震災前後のLF帯電波伝搬変動

日大生産工(院) ○中村 祐太

日大生産工 田中 將義

### 1.はじめに

近年日本では地震が毎日のように発生している。特に大地震は建造物の倒壊や地盤沈下、津波などの二次災害を含め、人命を脅かす多大な被害をもたらしてきた。3月11日に発生したM9の三陸沖地震を始めとした東日本大震災の余震が長期に渡り続いている。このような大規模な地震を事前に知ることができれば、被害を最小限に軽減することが可能である。

地震が発生する際の前兆として異常な電波伝搬ならびに異常雑音の発生が報告されており、これらの検出が地震予知の手段として検討されている<sup>(1-4)</sup>。30kHz~300kHzの長波(帯LF帯)、76MHz~90MHz FM放送波(VHF帯)及びこれらの帯域の雑音を受信し、受信レベルの異常変動を精度良く自動検出するアルゴリズムについて検討し、地震予測との関連性について考察してきた<sup>(4)</sup>。

本論文では長波帯とVHF帯の電波伝搬変動を検出する方法として、正常時の日変動パターンを基準とし、日ごとの変動パターンとの相関を求め、異常変動を自動検出するアルゴリズム<sup>(4)</sup>を用いて、3月11日に発生したM9の東日本大震災前後の電波伝搬変動を検討した結果を報告する。

### 2. 地震発生の前兆

長波及びFM波の伝搬の様子をFig.1に示す。送信局から発信された長波は、電離層での反

射波を受信局で受信する。一方、FM波は電離層を通過するため、電離層での僅かな反射波を受信することになる。地震発生の前兆となる地殻変動によって、震源地付近の地下からラドン等のガスが発生する。そのガスによって、電離層に擾乱が引き起こされると考えられている<sup>(1)</sup>。電離層擾乱の影響により反射波の伝搬が変化する。この擾乱の検出及び検出精度向上を検討した。

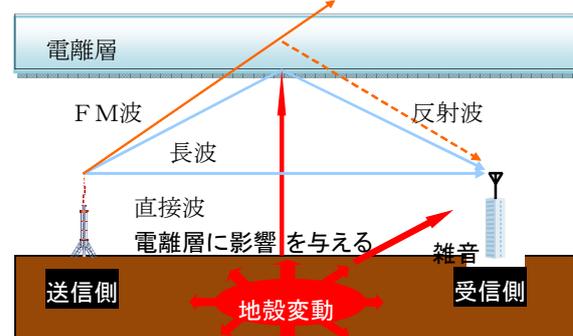


Fig.1 Hypothesis of radio wave propagation change before earthquake.

### 3. 電波伝搬変動検出法

#### 3.1 観測方法

屋上に設置した無指向性及び指向性アンテナを使用する。主に使用した無指向性アンテナは、日本各地及び海外の送信局からの長波、FM波及び雑音の15波を受信している。

#### 3.2 電波伝搬変動検出のアルゴリズム

電波伝搬変動検出システムのアルゴリズムをFig.2に示す。読み込みの際に、基準データと測定データに対し特徴抽出プログラムにより、雑音等の

Study on LF-band Radio Wave Propagation Change before and after Eastern Japan Earthquake

Yuta NAKAMURA and Masayoshi TANAKA

微小変動をカットする平滑化処理を行う。基準データである一日の変動パターンと測定データの日毎の変動パターンを相関解析によるパターン認識によって、変動を自動検出する。この際、交換値は安全側の値として、最大値を使用する。最後に、相関値の閾値による判定を行うことで異常変動を評価するアルゴリズムである。

太陽から放射される紫外線やX線などの影響により、電離層の電子密度が増加する。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、日没時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。

今回、一日の測定データ入力を前日の21時から翌日の3時までとし、日照時間の変化を考慮して、時間の遅れを $\tau$ として、基準データと測定データの波形のパターン認識を行った。相互相関係数: $\phi(\tau)$ は、次式により計算した。

$$\phi(\tau) = \frac{1}{x(t)^2 \cdot y(t)^2} \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} x(t)y(t+\tau)dt \quad (1)$$

( $x$ : 基準値,  $y$ : 測定値,  $\tau$ : 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に近いほど、 $x$ と $y$ に関して相関性があり、 $\phi(\tau)$ の値が0に近い程、相関が無い状態を意味している。また、 $\phi(\tau)$ の値が-1であれば負の相関を意味する。したがって、出力される値が1と異なる値である程、変動が大きいと検出するアルゴリズムである。

今回、変動変化を視覚的確認しやすいように、 $\phi(\tau)$ を用いて以下のように変換した、

$$C = 1 - \phi(\tau)_{\max} \quad (2)$$

(2)式の $C$ を以降、変動評価値 $C$ (Evaluation value)と呼ぶ。

### 3.3 電波伝搬変動例

Fig.3は、平滑処理後の測定データの一週間分の電波伝搬変動を示す。夜間が高く、昼間は

減少する山—谷—山の波形が一日分を示している。18, 20, 21日目に、波形の変動が見受けられる。この電波伝搬に異常変動が検出された約3日後に地震の発生が検出されている。

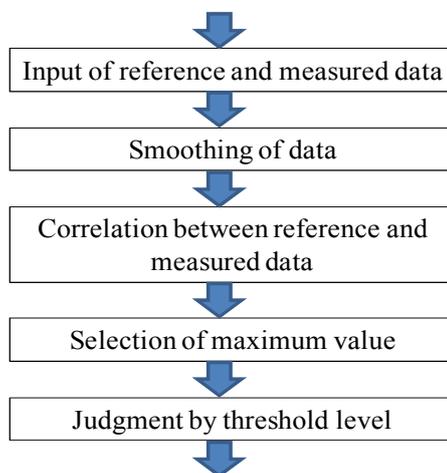


Fig.2 Algorithm for radio wave propagation change detection.

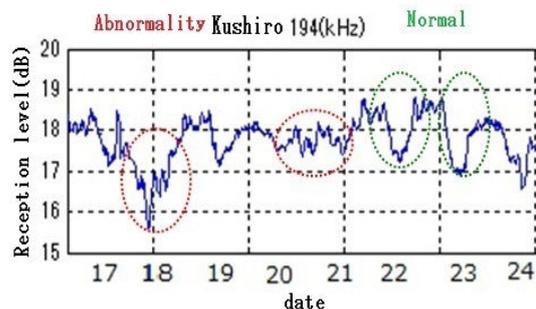


Fig.3 Received signal level after smoothing process.

### 3.4 電波伝搬変動の解析結果

2011年1月から9月までの期間に、釧路の航空無線標識局の送信波(194 kHz)を習志野にあるキャンパスで受信し、上記のアルゴリズムに従って算出した日ごとの変動評価値 $C$ をFig.4に示している。釧路—習志野間は地震多発地域の上空を通過する経路に位置している。 $C$ の値が大きいくほど電波伝搬変動が大きいくことを表している。

Fig.4の1月時点に着目すると、比較的変動が落ち着いていることが見受けられる。2月

時点からCが1に近い値に近づき始め、3月時点ではCが1を超える大きな電波伝搬変動が発生し始めていることが見受けられる。

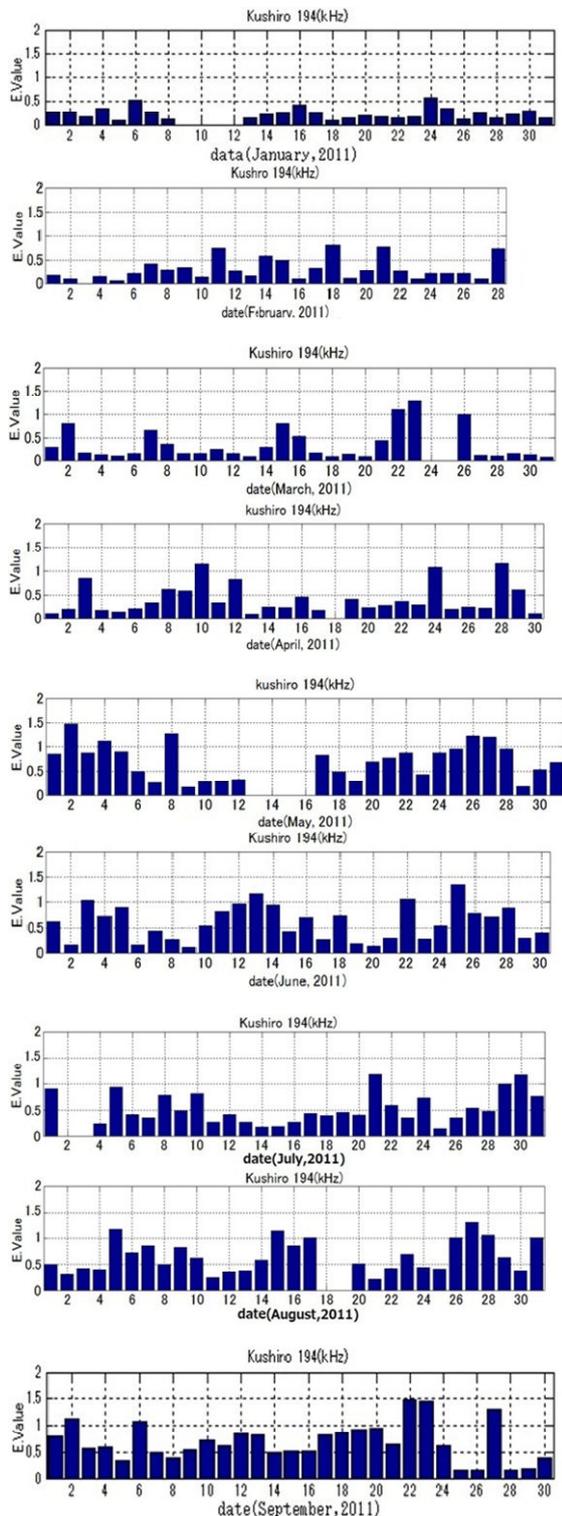


Fig.4 Trend of evaluation value C before and after March.11,2011.

3月11日の東日本大震災後の4月以降から9月に至るまでCが大きい日が多発していることが分かる。

Fig.5は、2010年8月の同条件下の日毎のCを示している。Fig.5の去年度の8月時点でのCの変動は、今年1月と同様落ち着いている。このことから、今年9月時点では、電波伝搬変動が未だに続いていると考えられる。

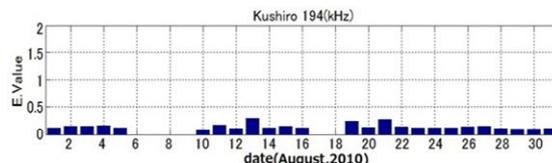


Fig.5 Evaluation value C of August, 2010.

#### 4. 変動評価値検出精度の考察

日本中で知覚することが不可能な微少な地震を含めると、毎日何十件と発生している。今回、日本周辺で発生した地震に絞り、マグニチュード5以上の大規模な地震に対して変動評価値を調査した。評価した変動評価値の閾値設定を0.5以上に設定したとき、マグニチュード5、マグニチュード6、マグニチュード7以上、上記条件総計の1月から9月までの総数、電波伝搬変動の検出数、割合をTable.1に示す。

Table.1 Statistics of earthquake detection.

Magnitude	Number of incident	Number of detection	Ratio
$5 \leq M < 6$	320	208	0.65
$6 \leq M < 7$	60	41	0.68
7 over	10	10	1
Total	390	259	0.66

Table.1から、上記条件下において、全体で約6割以上との検出結果を得た。また、マグニチュードが高いほど、検出確率が高い結果となった。

変動評価値が閾値を超えているにもかかわらず地震が起きていない場合があった。

変動評価値は電波伝搬の変動の大小を示

した値であるが、大きい値が必ずしも高いマグニチュードであるとは限らないことが分かった。

## 5. 電離層に影響を与える他の要因

地震の発生の前兆と電波伝搬変動の関係を検討する上で、他の電離層擾乱を引き起こす要因についての考慮が必要である。その要因として、地磁気と太陽活動について検討した。

Fig. 6 は、月ごとの変動評価値と気象庁地磁気観測所のk指数日合計、NICT(情報通信研究機構)の黒点相対数との相関関係を示している。

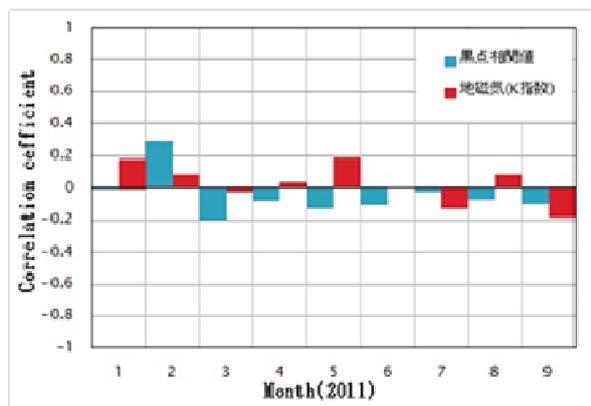


Fig.6 Correlation between terrestrial magnetism / sunspot change and E.Value.

k指数は、地磁気変動の活動程度を表わす指数である。1日を3時間ごと8区間に分け、各区間において地磁気活動が静かな日の日変化曲線からのずれの程度を準対数目盛で表し0~9の10階級に分けたものである。1日8個のk指数の和をk指数日合計と言う。

黒点相対数は、太陽表面に存在する黒点と黒点群の総量を計測、数値化した数値表現である。黒点の付近では、フレアやコロナ質量放出等が発生する。黒点数が多い程、電離層に与える可能性が大きいと言われている。

Fig.6より、各々相関値が0.5以下であり、太陽活動、地磁気における影響と電波伝搬変動

との相関性は小さいと言える。

## まとめ

電波伝搬変動の検出から地震予測の可能性を検討している。今回3月11日に発生した東日本大震災前後の電波伝搬変動を解析し、地震発生と電波伝搬変動との関連性についての考察を行った。

電波伝搬変動の検出精度を高めるために、正常時の日変動パターンを基準として、季節による日照時間の変化を考慮したパターン認識により変動検出を行った。

その結果、日本周辺で発生したマグニチュード5以上の地震の前兆となる電波伝搬変動を約6割5分の確率で自動検出した。マグニチュードが高いほど、検出確率が高い結果となった。さらに昨年度と今年度を比較検討した結果、3月11日の地震以前の2月から9月現在も電波伝搬変動が大きく変動していることを明らかにした。

また、検討に用いた変動評価値と、太陽活動ならびに地磁気の変動との相関を検討した結果、相関性は小さいことが明らかになり、変動評価値は、太陽活動ならびに地磁気変動を反映しているものではないことを確認した。

今後は、測定点の追加や指向性アンテナを用いて、地震発生地域の特定、FM波等他の電波伝搬との比較の検討を行っていく予定である。

## 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, 田中将義: 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, 田中将義: 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, 田中将義: 信学会総合大会, B-1-38, p.38(2011)
- (5) 中村祐太, 田中将義: 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-3, (2011)