

大気電場観測室周辺の竹藪伐採による観測値への影響 —フィールドミル電場計を用いた調査—

海東恵美¹, 仰木淳平¹, 長町信吾², 大川隆志¹

地磁気観測所 ¹技術課, ²観測課

2018年12月17日受領, 2019年 1月23日受理, 2019年 3月25日刊行

要 旨

柿岡における大気電場の観測値は1990年頃から減少傾向にあるが, その変動には観測点周辺の竹藪の成長による擾乱が含まれると考えられたため, 2009年に周辺の竹藪を伐採した. この伐採の効果は, 数値計算の結果から観測値が伐採前より1.17倍に増加したと見積もられた. さらに2017年2月から3月にかけて竹藪の一部が伐採され, 数値計算による見積もりでは, 観測値が約1.2倍に増加する見込みとなった. 今回は大気電場観測への影響量を実測で得る試みとして, 電場観測の参照点を設置して比較観測を行い, 数値計算による推定量と同程度の約1.3倍となる結果が得られた.

1. はじめに

大気電場の観測では, 周囲の地形や観測室自体によって電場が乱されるため, 平坦な地形での観測値と観測室付近での観測値は一致しない. このため, 実際に測定された観測値に平面更正係数と呼ばれる比例係数をかけることで平坦な地形で観測した場合の観測値に補正する処理を行っている. 柿岡の大気電場観測は1931年に始まり, 1970年頃までは平面更正係数の測定も行われていたが, この測定には放射性物質を使うことから, 近年では平面更正係数の測定は行われていない. そのため1965年から平面更正係数1.3を採用し続けている. しかしながら, 1990年頃からみられる静穏日年平均値の減少傾向は自然な変化だけではなく, 大気電場観測室(空中電気室)周辺の竹藪の成長が平面更正係数に影響を与えているものと考えられ, その影響を軽減するために2009年8月から10月にかけて竹藪の一部を伐採した. この伐採の効果は, 数値計算により観測値が伐採前に比べて約1.17倍に増加し, 平面更正係数は伐採前で2.52, 伐採後には2.16になると求められた(長町他(2013)).

その後も2017年2月13日から3月31日にかけて竹藪の一部伐採及び搬出作業が行われた. 竹藪の伐採範囲を図1に示す. 今回は大気電場観測装置(水滴集電器)のアンテナとなるノズルが空中電気室の北

側にあることから, 空中電気室の北側を最大で35mほど, 西側をさらに13mほど広がるように伐採し, 前回伐採した範囲(縦縞部分)と比べると, 空中電気室からみて北側から西側にかけて広範囲に及んだ. 伐採途中と伐採後の写真を図2に示す. 空中

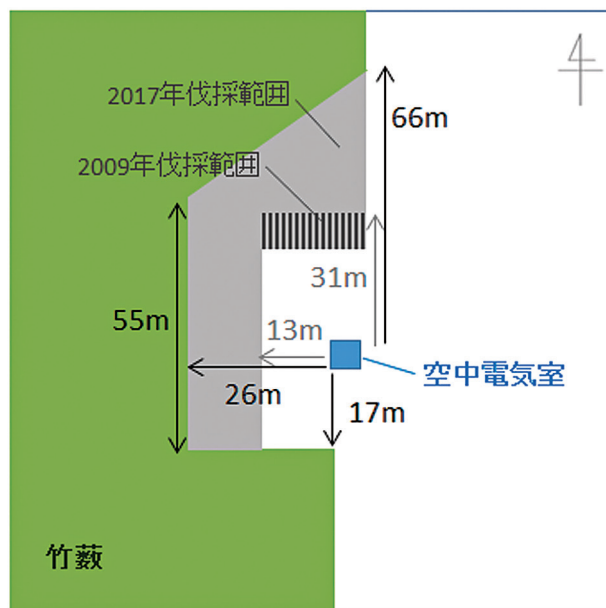


図1 竹藪の伐採範囲
中央の四角が空中電気室, 緑色部分が竹藪, 灰色部分が2017年に伐採した範囲, 縦縞が2009年に伐採した範囲.



図2 空中電気室の北東側から撮影した竹藪伐採の状態
(左：伐採途中2月14日，右：伐採後4月4日)

電気室の奥（北西方向）の竹藪が広く伐採されたの
がわかる。本報告では，2017年に行われた竹藪伐採
が観測値に与える影響を，数値計算による方法と
フィールドミル電場計を用いた実測値比較による方
法の2通りで見積もり，それらを比較した結果を報
告する。

2. 数値計算による影響量の推定

図1の伐採範囲をもとに観測値への影響量を数値
計算により求めた。数値計算の計算方法，計算範囲
と境界条件は長町他（2013）と同様にし，空中電気
室北側の緩い斜面についても平坦な地面と仮定し
た。

【数値計算の条件】

計算範囲を300m×300m×300m,

空中電気室を縦7m, 横6m, 高さ4.5mの直方体,
竹藪の高さを12m,

境界条件は高度300mで電位30000V,

地面，空中電気室壁面および竹藪での電位は0V,
東西南北の境界で水平方向電場勾配はゼロとする。

計算結果を水滴集電器のノズルの先端位置すなわ
ちアンテナ位置（空中電気室北側，壁中心から東へ
0.5m，壁面から北へ1.17m，高さ2.25m）での電位で
表すと，伐採前は51.966V，伐採後は61.187Vとなり，
伐採前と比べて観測値が約1.18倍に増加する見込み
となった。また，この計算結果から長町他（2013）
と同様に平面更正係数を算出すると，伐採前で1.92，
伐採後で1.63となった。

3. 水滴集電器とフィールドミル電場計の比較観測

大気電場観測値への竹藪伐採による影響を実測値
で確認するため，参照点を設置して比較観測を行っ
た。



図3 比較観測のための参照点（構内配置図）
国土地理院撮影の空中写真（2018年10月撮影）に加筆して
作成，白枠は2017年に伐採した範囲。

3.1 フィールドミル電場計による観測

参照点は，竹藪や建物の影響を受けないように空
中電気室から離れた敷地内にある広場中央付近（水
滴集電器の東北東約100m）に設置し，フィールド
ミル電場計（テラテクニカ製 EF-308）を使用した（図
3）。竹藪の伐採は2017年2月13日から始まり，伐
採した竹は3月31日に全て運び出された。その期間
を挟むように比較観測は2017年2月2日から4月30
日までの約3ヶ月間実施した。

参照点のフィールドミル電場計は毎秒計測とし
た。フィールドミル電場計の検出器（誘導板）の地

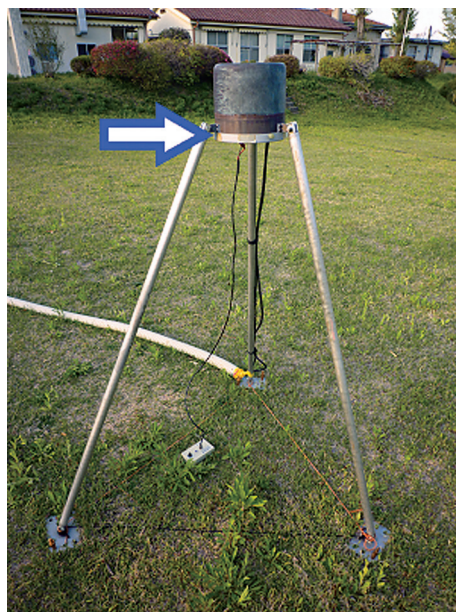


図4 フィールドミル電場計の感度測定（青矢印が感度板）とセンサー内模式図

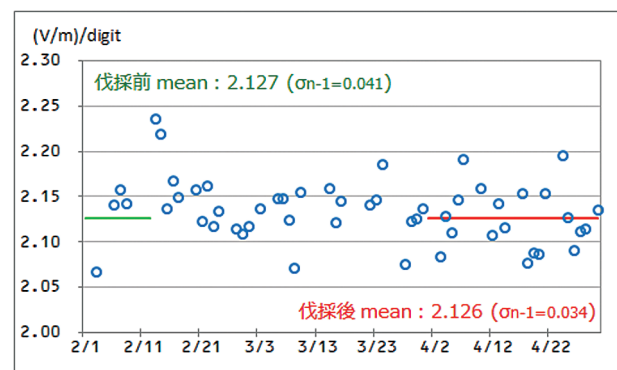
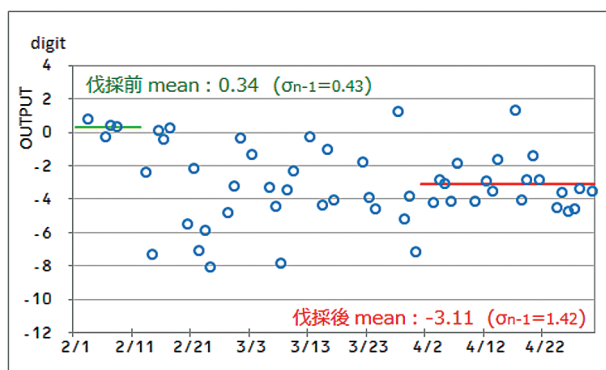


図5 参照点フィールドミル電場計のオフセット（左）と感度測定結果（右）

面からの高さ（距離）は約145cmである。感度やオフセットがアンプの温度特性で変化することを考慮し、感度測定をほぼ毎日実施した。また欠測時間帯が1日のなかで偏らないように日毎に異なる時間帯を選んだ。感度測定時の模式図を図4に示す。感度測定はセンサー下面に感度板を取り付け、感度板に0V（感度板と大地が短絡している状態）と12Vおよび-12Vの電圧を印加して測定し、それぞれ5分間のデータを取得した。この12Vの校正電圧は誘導板と感度板間の距離から $693.6\text{V/m} (= 12\text{V}/17.3\text{mm})$ の電界強度に相当する。

感度測定結果を図5に示す。左図がフィールドミル電場計のオフセットにあたる0V入力時の出力、右図が出力値を電界強度に変換する感度係数、それぞれ緑色の実線が伐採前の平均値、赤色の実線が伐採後の平均値である。感度係数は2.07～2.24の範囲で、オフセットは-8～+2の範囲で変動している。

処理の簡略化のため、伐採前後それぞれの平均値を代表値として変換処理を行った。感度係数、オフセットの変動の分、変換後のデータには不確かさが含まれるが、次節で述べる比較には伐採開始前と終了後の数日間の相関を用いるため、時間的な変化傾向のないランダムな変動は、決定係数等の相関の強さを下げる要因にはなかったが、平面更正係数の推定等に大きな影響はなかった。

3.2 比較観測の結果

約3ヶ月間の柿岡の大気電場観測値（水滴集電器）とフィールドミル電場計の毎時値を比較した結果を図6に示す。設置場所や測定原理の違いから、水滴集電器とフィールドミル電場計の観測値は1対1に対応しない可能性もあるが、今回は両者の差の変動の比を見るためそのまま比較する。

比較観測では、伐採前が2月2日から2月12日ま

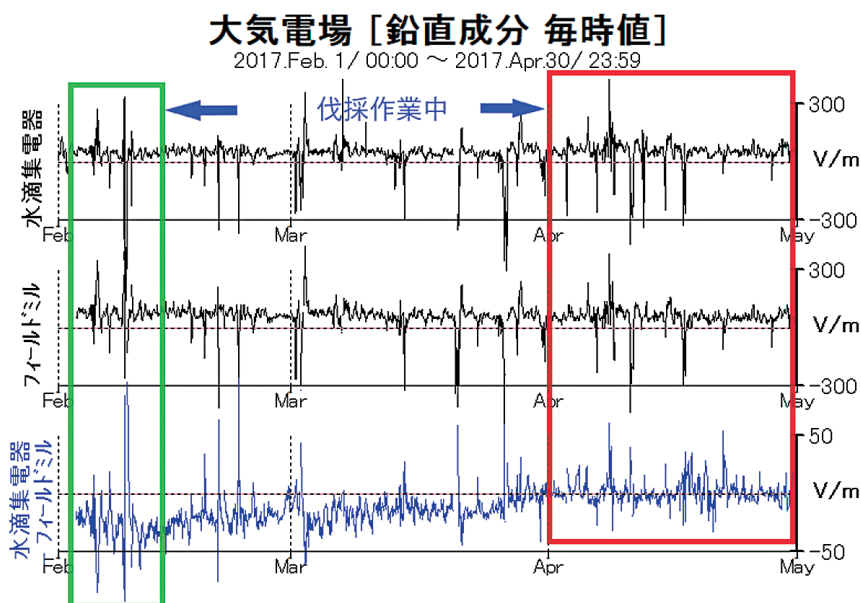


図6 大気電場観測値比較 (上から水滴集電器, フィールドミル電場計, 水滴集電器とフィールドミルの差, 緑色の範囲が伐採前, 赤色の範囲が伐採後)

でとやや短いですが, 伐採後の4月1日から4月30日までと比べると, 伐採後の観測値の方が大きくなっている(図6下段)。観測環境が変化した竹藪に近い水滴集電器の観測値が大きくなっていることがわかる。図7に縦軸に水滴集電器, 横軸にフィールドミル電場計による観測値とし, 毎時値を用いて伐採前後のそれぞれの相関を示した。グラフ中の数式は, 最小自乗法による線形回帰の結果とその決定係数である。数式の傾きは水滴集電器とフィールドミル電場計の平面更正係数の比を表しており, 例えば図7左図(伐採前)では水滴集電器に比べフィールドミル電場計の平面更正係数が74%小さいと言える。伐採による影響は, 平面更正係数の違いとなって現れるはずであり, それは回帰直線の傾きの違いに相当する。伐採後の傾きは伐採前に比べて約1.3倍大きくなっており, 平面更正係数が1.3分の1になったと推定できる。

3.3 線形回帰の推定誤差について

比較観測の結果を評価するため, 最小自乗法によって推定されたパラメータの推定誤差について検討した。図7の線形回帰において回帰関数を一次関数 $y = ax + b$ とすると, 傾き a および切片 b の推定誤差を, 回帰直線と測定値との残差のばらつきを測定誤差として誤差伝播則を用いて求めると以下のようなになる(付録)。

伐採前:

傾き $a = 0.74 \pm 0.012$ 切片 $b = -8.3 \pm 17.8$

伐採後:

傾き $a = 0.98 \pm 0.006$ 切片 $b = +1.7 \pm 12.6$

水滴集電器とフィールドミル電場計の感度校正が理想的に施されるならば, 切片 b は伐採の有無にかかわらず0となり, 伐採の前後で変わるのは傾き a のみであると期待される。図8に回帰直線の誤差範囲のイメージを示す。伐採前のデータによる回帰直線は図の青色の範囲, 伐採後のデータによる回帰直線は図の赤色の範囲を取りえらる。切片の取りえる範囲は伐採前後で重なる部分があり(図の矢印部分), なおかつその部分に $b = 0$ を含んでいる。このことから, 伐採前後での b の値の変化には有意性はないと考える。

一方で傾き a の誤差は小さく, 伐採前後での変化は有意なものだと判断できる。誤差を考慮した伐採前後の比は最小1.28~(1.31)~最大1.35となり, およそ1.3倍という結果に変わりなかった。

4. 考察

数値計算と比較観測から見積もった伐採前後の観測値の変化と静穏日月平均値の和の変化を表1に示す。静穏日月平均値の和では, 季節変化の影響を減らすため, 2016年と2017年でそれぞれ4月から12月までの和を比べた。比較観測による見積もりは数値計算による見積もりよりも11%ほど大きい結果となった。これは数値計算に使った竹藪の形と実際の形の違いやフィールドミル電場計の周辺環境の変化(芝生の成長等)の影響の可能性がある。静穏日月平均値の和の変化には竹藪伐採による影響と実際の自然変動が含まれるが, 数値計算及び比較観測結果

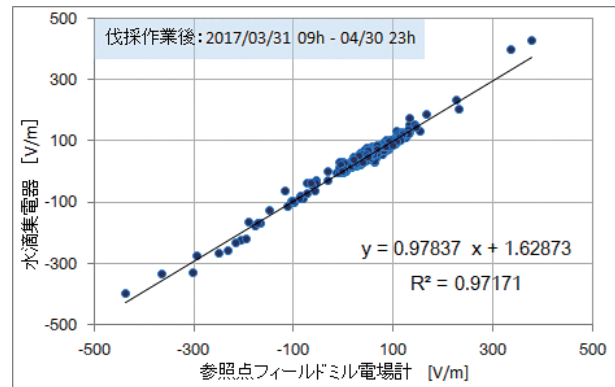
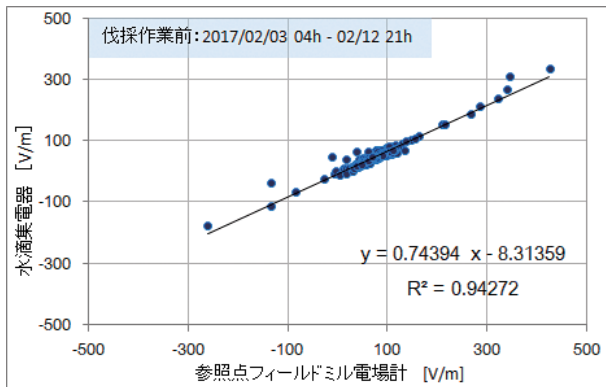


図7 水滴集電器と参照点フィールドミル電場計の毎時値の相関（左：伐採前，右：伐採後）

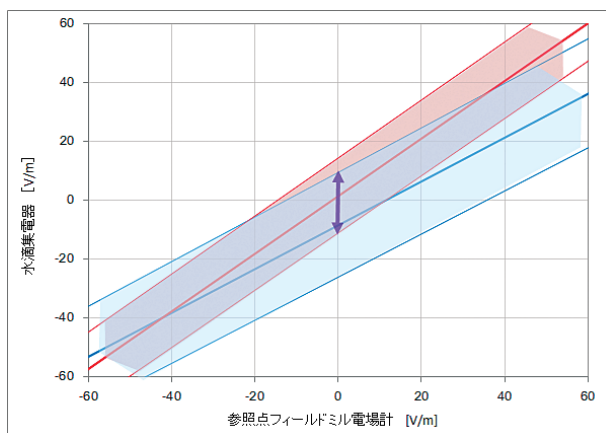


図8 参照点フィールドミル電場計のオフセットと感度の誤差が水滴集電器とフィールドミル電場計の相関に与える影響（伐採前：青色，伐採後：赤色）

表1 竹藪伐採前後の観測値の変化

数値計算	1.18倍
フィールドミル電場計による比較観測	1.31倍
静穏日月平均値の和（4～12月）	1.22倍

と概ね符合している。

竹藪伐採後の2017年までの静穏日年平均値を図9に示す。2010年の観測値は前回竹藪を伐採した2009年の影響で1.45倍大きくなったが、福島第一原発の事故の影響（Takeda et al. 2011）を含む2011年は再び小さくなった。その後、徐々に大きくなる傾向で推移していたが、2017年の増大は竹藪伐採による影響が大きい。

5. まとめ

大気電場の観測値は周辺の地形や樹木により影響を受けるので、変化を解釈する際は周辺の観測環境

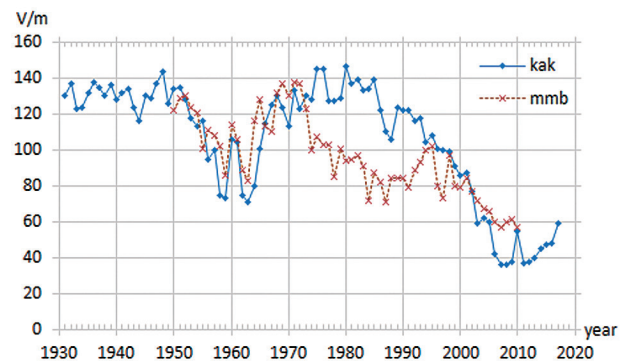


図9 大気電場の静穏日年平均値（1931年～2017年）
実線：柿岡，点線：女満別（2010年観測終了）

の変化を考慮する必要がある。2009年に行われた空中電気室周辺の竹藪の一部の伐採が、観測値への影響を軽減する効果がみられたため、今回あらたに範囲を広げて伐採するにあたり、その影響量を数値計算とフィールドミル電場計を用いた観測値比較の両面から見積もった。

数値計算からは、観測値が伐採後は伐採前に比べて約1.18倍に増加するという結果が得られ、伐採後の平面更正係数は1.63と推定された。比較観測からは、伐採前後で観測値が約1.3倍に増加する結果が得られた。数値計算と比較観測の結果を比べると、両者はほぼ一致しており数値計算の有用性も確認できた。このことは、周囲の環境を指定することでその時点における水滴集電器の平面更正係数を数値計算により決定できることを示唆する。

数値計算を用いて水滴集電器の平面更正係数を決定することができれば、観測値比較から運用中の比較観測用のフィールドミル電場計のその時点での平面更正係数も求められる。フィールドミル電場計の観測環境を維持しその平面更正係数が変わらないよう運用を続けることができれば、相互比較によって水滴集電器の平面更正係数変動を監視する手法のひ

とつになりえるかもしれない。

引用文献

長町信吾, 外谷 健, 吉武由紀, 大気電場観測室周辺の環境変化による観測値への影響－数値計算による竹藪伐採の影響量の見積もり－, テクニカルレポート第10巻第1号, 1-8, 2013

Takeda, M., M. Yamauchi, M. Makino, and T. Owada, Initial effect of the Fukushima accident on atmospheric electricity, Geophys. Res. Lett., 38, L15811, doi:10.1029/2011GL048511, 2011

付録

線形回帰の推計誤差について

回帰関数を一次関数 $y = ax + b$ とし, 傾き a および切片 b を最小自乗法で推定した場合, a および b は以下のように表される。

$$a = \frac{\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} - \sum_i \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{y_i}{\sigma_i^2}}{\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} - \left(\sum_i \frac{x_i}{\sigma_i^2} \right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_i \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{y_i}{\sigma_i^2} - \sum_i \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{x_i}{\sigma_i^2}}{\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} - \left(\sum_i \frac{x_i}{\sigma_i^2} \right)^2}$$

ここで σ_i は y_i の測定誤差である。 a および b の推定誤差 σ_a, σ_b は, 誤差伝播の法則を用いると

$$\sigma_a = \sqrt{\sum_i \left[\left(\frac{\partial a}{\partial y_i} \right)^2 \sigma_i^2 \right]}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2}}{\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} - \left(\sum_i \frac{x_i}{\sigma_i^2} \right)^2}}$$

$$\sigma_b = \sqrt{\sum_i \left[\left(\frac{\partial b}{\partial y_i} \right)^2 \sigma_i^2 \right]}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum_i \frac{x_i^2}{\sigma_i^2}}{\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} - \left(\sum_i \frac{x_i}{\sigma_i^2} \right)^2}}$$

と表される。

測定誤差が全ての測定において同一である場合には, $\sigma_i = \sigma$ となり σ_a, σ_b はそれぞれ

$$\sigma_a = \sigma \sqrt{\frac{n}{n \sum_i x_i^2 - \left(\sum_i x_i \right)^2}}$$

$$\sigma_b = \sigma \sqrt{\frac{\sum_i x_i^2}{n \sum_i x_i^2 - \left(\sum_i x_i \right)^2}}$$

と表される。 n はサンプル数である。測定誤差は不明である場合も多いが, 各測定において誤差が変わらないと仮定でき, なおかつサンプル数が十分多い場合は, 回帰直線からの残差のばらつき, すなわち

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_i (y_i - ax_i - b)^2}$$

で測定誤差を見積もることができる。

Change of the atmospheric electric field around an observation hut by bamboo grove cutting: Estimation using a Field Mill electric field meter

by

**Megumi KAITO, Junpei OOGI,
Shingo NAGAMACHI and Takashi OHKAWA**

Kakioka Magnetic Observatory

Received 17 December 2018; accepted 23 January 2019; published 25 March 2019

Abstract

The observed value of the atmospheric electric potential gradient at the Kakioka Magnetic Observatory has decreased since 1990. We hypothesized that the observed values reflected the influence of growth of the bamboo grove around the observation point. We therefore cut bamboo grove of the area surrounding the observation point in 2009. The effect of this cutting was estimated from the results of numerical calculations, which indicated that the observed value should have been 17% greater than the original value since the time before cutting. Furthermore, we expanded the cutting area in the bamboo grove from February to March 2017. Numerical calculations indicated that this cutting would have increased the observed value by 20%. In this study, we made comparative observations with a Field Mill electric field meter at a place not affected by cutting. The Field Mill indicated that the electric potential gradient had increased by 30%. One of the causes of the difference between the numerical calculation result and the comparative observation result seems to be because of the difference between the shape of the bamboo grove used in the numerical calculation and the actual shape. Considering the above, the usefulness of the numerical calculation was confirmed.