

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—

長町信吾, 外谷 健, 吉武由紀

地磁気観測所観測課

2012年1月11日受領, 2012年9月14日受理

要 旨

柿岡における大気電場の観測値は1990年ごろから減少傾向にある。周辺の竹藪の成長がその一因であると考えられるため、2009年8月～10月にかけて周辺の竹藪の一部を伐採した。

竹藪の伐採によってどの程度観測値に影響を与えるかを見積もるため、伐採前後に対応する境界条件および、竹藪が一切無かった場合の境界条件を仮定して理論計算を行った。竹藪が一切なかった場合は、平面更正係数として1.26程度になるという結果を得た。写真記録からは観測開始当初は竹藪は無かったと考えられ、現在まで継続して使われている平面更正係数1.3と調和する結果であった。また、伐採前での平面更正係数は約2.52、伐採後では約2.17となり、伐採後は伐採前に比べて約2割ほどの観測値の増加が見込めると考えられる。また、伐採直前は竹藪が無かった場合に比べて観測値は約1/2に減少しているという結果になる。近年の観測値の減少は竹藪の成長による影響と永年的な変化が重なって現れているものと考えられる。

1. はじめに

柿岡の大気電場の観測値は1990年頃から約5(V/m/年)程度の割合で減少傾向にある。1990年には120V/mほどであったが、2009年には約30V/mとなるなど、観測値は半分以下にまで減少した(図1参照)。

大気電場観測は女満別出張所でも行なわれているが、女満別の観測値は減少傾向にはあるものの、その減少幅は柿岡ほど大きくなく約3(V/m/年)

程度である。したがって、柿岡の減少傾向は自然現象のみではなく、周辺の観測環境の変化による部分も大きいのではないかと考えられる。

大気電場は、周囲の地形や観測室自体が電場を乱すため、平坦な地形で観測した場合と実際の観測室で観測した場合は値が異なる。このため、実際に得られた観測値に平面更正係数と呼ばれる比例係数を掛けることで、平坦な地形での観測値に引き戻している。平面更正係数を決定するには、地形の平坦な場所で同時に大気電場を観測し、連続観測の観測値と比較することによって求められる。柿岡では過去の観測で得られた平面更正係数1.3を採用している。過去の平面更正では、平坦な地形上での観測を放射性物質等を用いて行なっていたようだが、放射性物質の取り扱いが難しくなったため、近年は平面更正は行われていない。

写真記録によると、柿岡の大気電場観測施設(空中電気室)の周辺は、観測開始当初は樹木もほとんど無く平坦な地形であったようだが(図2,3参照)、現在は開けているのは東側のみで、他の方角は樹木や竹藪が覆い茂っている。これら樹木や竹藪が大気電場観測に影響を及ぼしている、すなわち平面更正係数が1.3から変化している可能性が十分考えられ

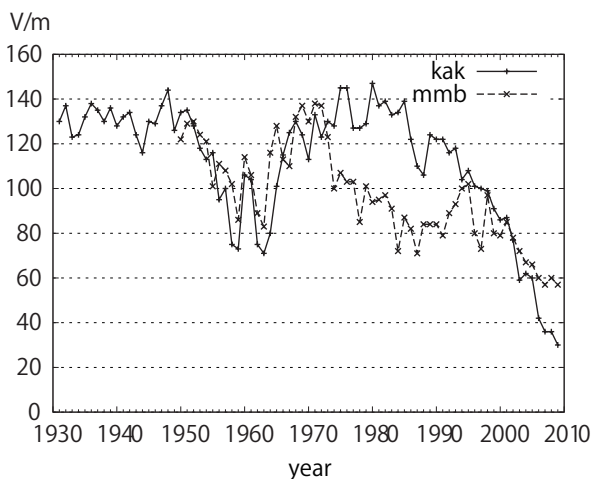


図1 大気電場経年変化 2009年までの年平均値
実線: 柿岡 点線: 女満別



図2 北東から撮影した空中電気室（中央）。現在では木々で隠れてしまっている第一絶対室（左奥の建物）まで見渡すことができる。（1959年）

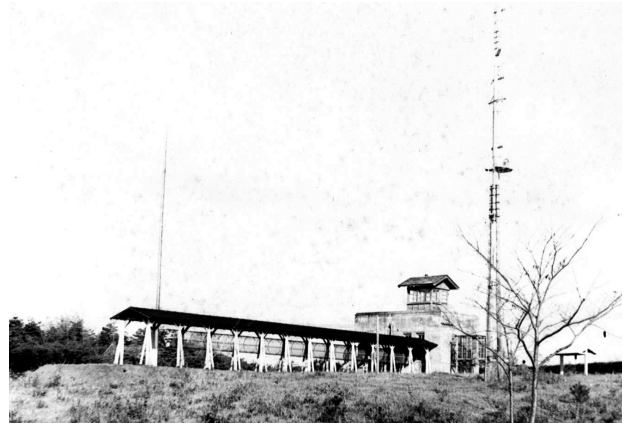


図3 南西から撮影した空中電気室。現在は北側のすぐ近くまで迫っている竹藪はまだかなり遠くに見える。撮影場所は現在は森の中で立ち入ることは出来ない。（1954年）

ることから、2009年8月～10月にかけて、観測施設北側の竹藪を幅20m、奥行き12mの範囲にわたって伐採した（図4参照）。この竹藪の伐採については2004年にも試みられたが、その時は空中電気室側から奥の北側に倒したため僅か2列程度の伐採で進めなくなり、観測環境は見た目にも大きな違いはなかった。その経験から今回は奥から東側の草叢に順次倒していくという方法により上記範囲の竹藪を次の6回の作業で終了した。最後の10月14日に、影響の大きいと思われる空電室に最も近い数列を一挙に伐採した。なお、竹の高さ（長さ）は10～15m程度で、12m前後のものが多かった。伐採前後の写真を図5に示す。

【作業日時 - 世界時 (UTC) -】

- ① 8/21 (金) 06 - 09h
- ② 9/3 (木) 03 - 07h
- ③ 9/14 (月) 03 - 06h
- ④ 9/17 (木) 03 - 06h
- ⑤ 10/13 (火) 07 - 08h
- ⑥ 10/14 (水) 04 - 06h

この伐採によって、竹藪の成長によって受けてきた影響が幾分緩和されたと予想されるが、平面更正のための観測を行っていないため、その影響を観測値から直接的に見積もるのは困難である。そこで、伐採前後および竹藪が一切無かった場合の大気電場分布を数値計算で求めることで、竹藪が観測に与える影響を算出し、実際の観測値との比較を試みた。

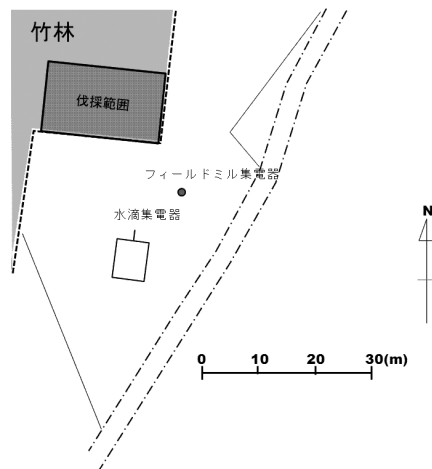


図4 竹藪の伐採範囲。



(a) 伐採前



(b) 伐採後

図5 伐採前後の竹藪の状態 - 東側より空中電気観測室を見る - 伐採前（左：8月20日）と伐採後（右：10月14日）

2. 数値計算

2.1 計算手法

大気電場は時間的に変動しない静電場を仮定し、竹藪の有無に相当する境界条件を仮定することとした。静電場はラプラス方程式に従う。数値計算には、ラプラス方程式を差分化することで連立一次方程式に還元し、SOR法と呼ばれる繰り返し計算を行う手法を使用した。

2.2 計算範囲および境界条件

計算範囲および境界条件の概略を図6、7に示す。x軸およびy軸が-150～150、z軸が0～300の1辺300mの立方体を計算範囲とし、空中電気室を中央部分の $-3 < x < 3$ 、 $-4 < y < 3$ 、 $z < 4.5$ の範囲に配置する。竹藪のある場合は、図7のような高さ12mの矩形の範囲を竹藪の領域とする。薄緑の範囲は竹藪の伐採範囲を示しており、伐採後の計算の際に

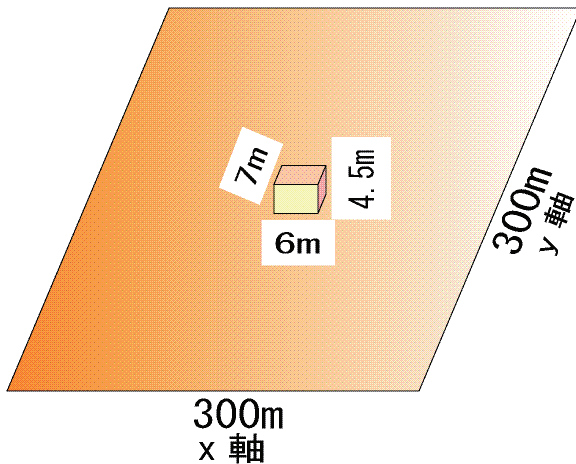


図6 数値計算の境界条件。竹藪が一切無い場合

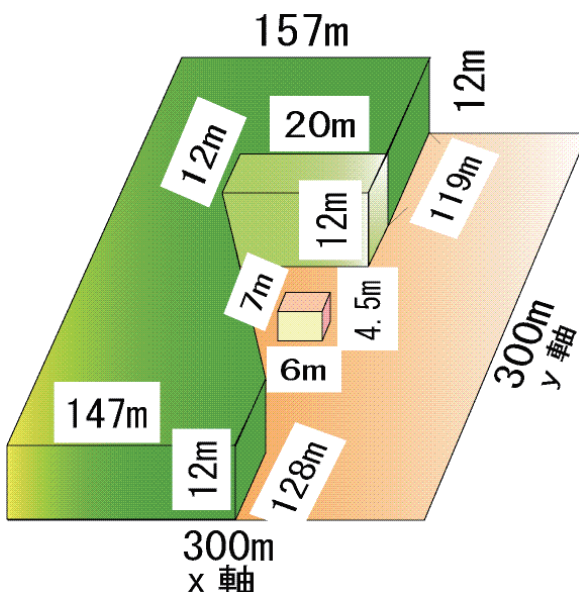


図7 数値計算の境界条件。竹藪伐採前および後。薄緑の範囲が伐採範囲

はその部分は削除する。

大気電場観測は空中電気室に設置された水滴集電器によって行っている。水滴集電器のノズルの先端は空中電気室北側の壁面から117cmの距離にある。このため、空中電気室の周辺では計算メッシュを細かくし、詳細な電場分布を計算する必要があるが、それ以外の領域では計算メッシュは粗くてもよい。したがって、計算範囲の外周部で格子間隔3m、空中電気室に近づくにしたがって格子間隔を狭めていき、最終的には約10cmまで狭めた。

境界条件は、 $z=0$ の地面および空中電気室外壁、竹藪表面を電位 $\Phi = 0V$ 、 $z=300m$ の上空を電位 $\Phi = 30000V$ と固定（平坦な地形で電位傾度が $100V/m$ となるように）、 $|x|=|y|=150m$ では電位の勾配 $\partial\Phi/\partial n = 0$ を設定した。

また、収束条件として、全格子点において逐次計算の補正量が0.001以下になることとした。

2.3 計算結果

$x=0.5$ （ノズルの存在する位置）の断面での電位をコンターで示す。図8、9が竹藪が一切無い場合、図10、11が竹藪伐採前、図12、13が竹藪伐採後である。赤い部分が空中電気室、緑の部分が竹藪を表している。

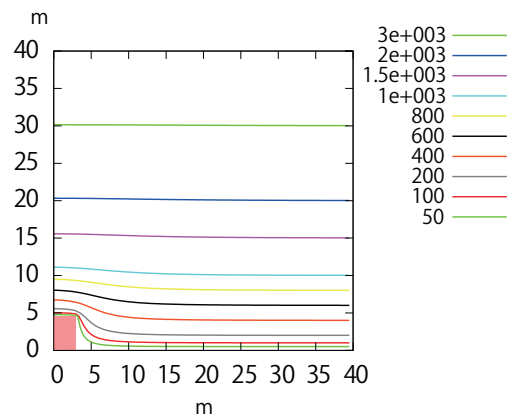


図8 計算結果。竹藪なし、広域

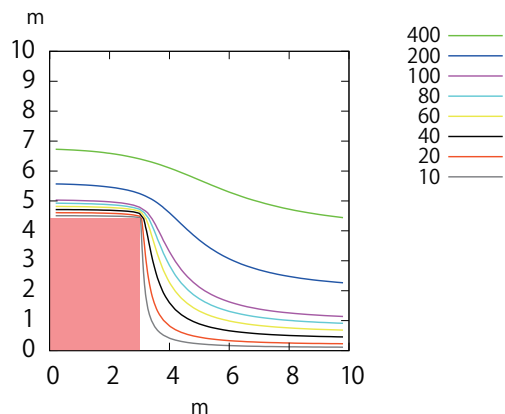


図9 計算結果。竹藪なし、空中電気室周辺

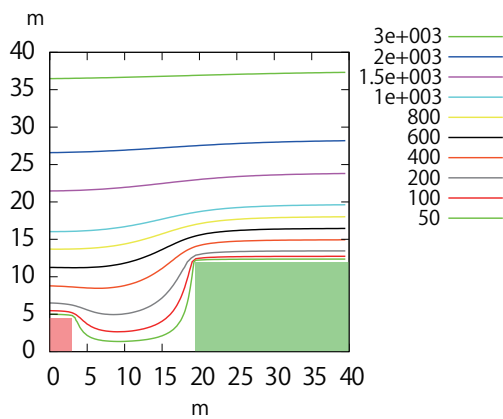


図10 計算結果。伐採前、広域

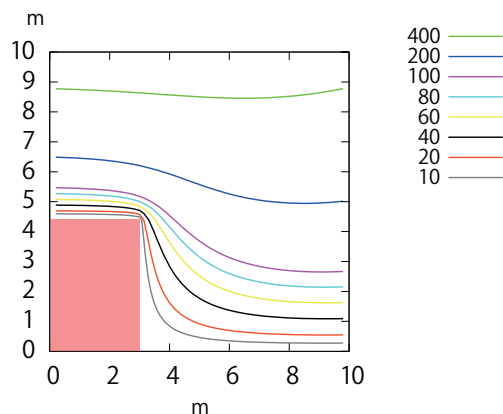


図11 計算結果。伐採前、空中電気室周辺

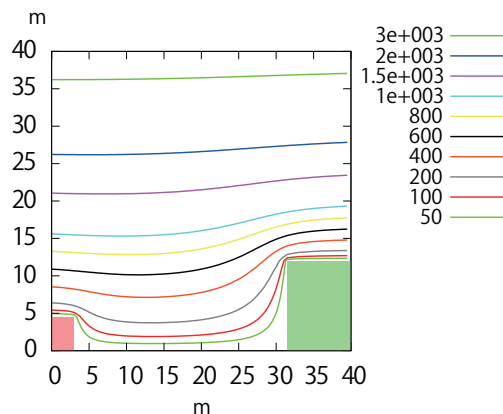


図12 計算結果。伐採後、広域

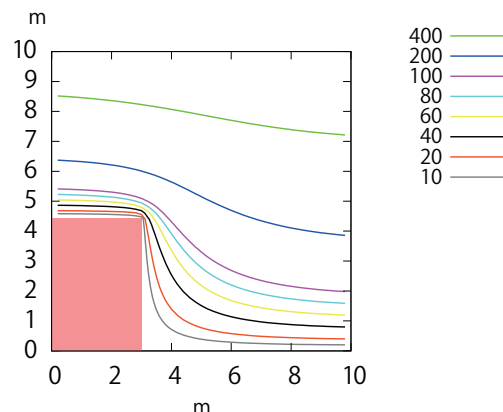


図13 計算結果。伐採後、空中電気室周辺

竹藪の存在が等電位面を变形させている様子が見て取れる。特に空中電気室周辺の電位を見ると、竹藪がある場合（伐採前後に限らず）は、竹藪の無い場合に比べて等電位面が明らかに押し上げられていることがわかる。

水滴集電器のノズル先端の電位から、平面更正係数の理論値を算出する事が出来る。計算式 $(100\text{V/m}) / (\text{ノズル先端の電位})$ である。ノズル先端の位置は、高さ2.55m、壁面距離1.17m ($y=4.17$)である。ノズル先端の電位と、算出された平面更正係数を表1に示す。

平面更正係数は、観測開始当初（竹藪が無かった頃）から現在まで1.3が使われている。竹藪なしの計算結果はそれに近い値が得られていることから、今回の計算結果は少なくとも与えられた境界条件では信頼できる結果が得られていると考えられる。また、伐採前後で観測値は約1.17倍に増加すると予想される。

表1 アンテナ先端の電位および平面校正係数の計算値

	アンテナ先端の電位	平面校正係数(計算値)
伐採前	39.623 V	2.52
伐採後	46.365 V	2.16
竹藪なし	79.605 V	1.26

3. 観測値の比較

竹藪伐採時間(10/14, 5h ~ 6h, UT)直前直後を含む時間帯の観測値(図14参照)からは、伐採によると思われる観測値の変化を見て取ることはできない。伐採時間帯の大気電場の観測値は10 ~ 25V/mほどであり、数値計算から予想される伐採による観測値の増加量は多く見積もっても5V/m程度であると考えられる。その程度の変化は自然変化でも十分変動し得る量であり、伐採の直前直後の観測値から伐採による変化と自然変動を区別することは困難だと思われる。

伐採前後の3ヶ月間の観測値を図15に示す。観測値は伐採直後からではなく、伐採後2~3日してから増大しているように見える。また、11月のはじめ頃からはさらに観測値の増大が顕著になっている。大気電場は冬場に増大する傾向があり、伐採直後では大気電場がもともと小さかったため、伐採による変動は見出せなかったものの、その後の季節変動により伐採の効果も合わせて現れているものと考えられる。

4. 議論

2008年1月~2009年5月までの静穏日月平均値(以下観測値)の推移と、2009年1月~2010年

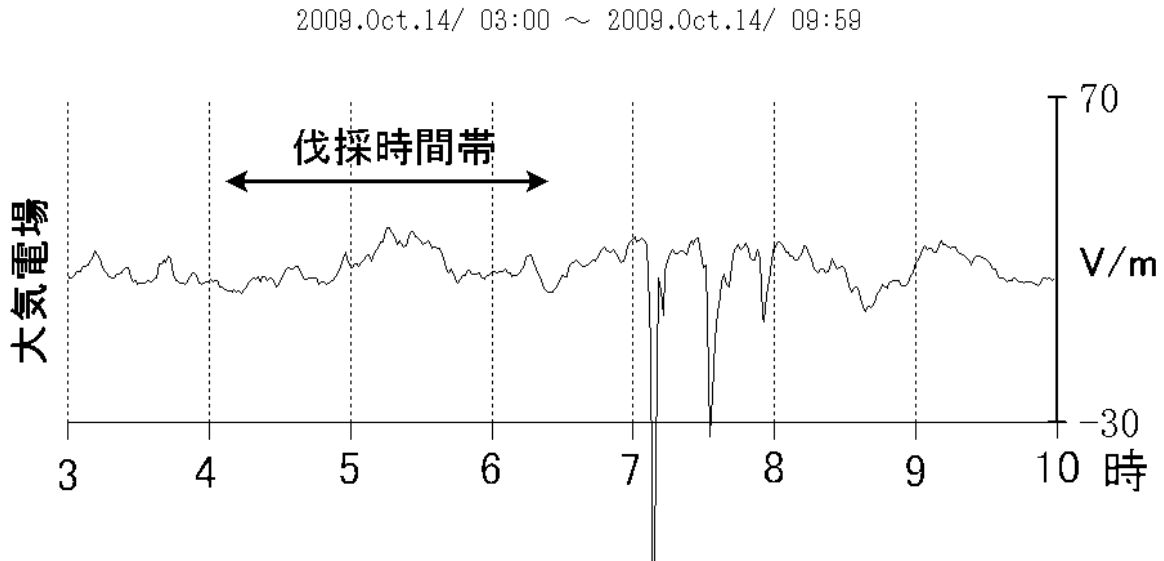


図 14 伐採の直前直後での大気電場の観測値

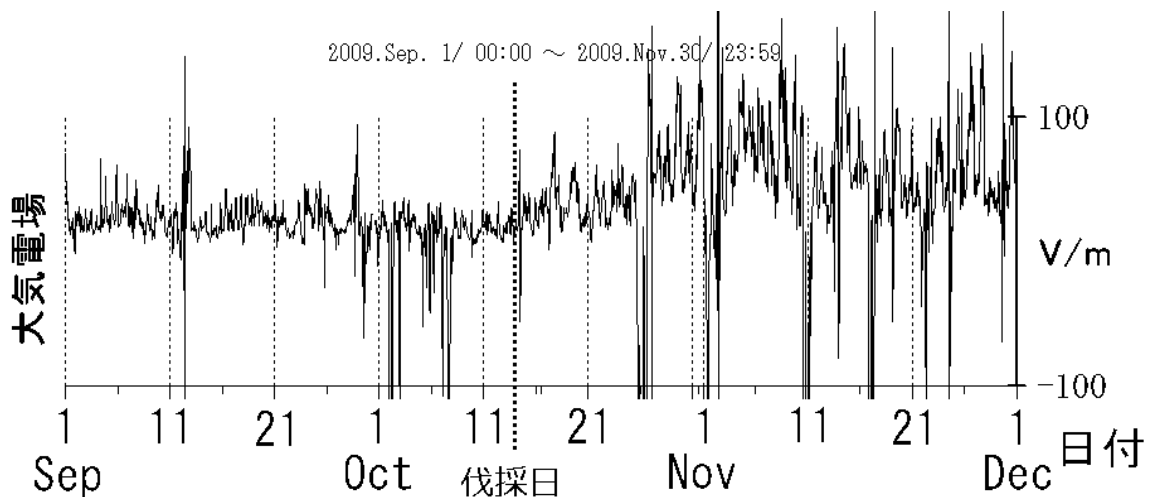


図 15 伐採前後3ヶ月間の大気電場の観測値。赤線が伐採を行った日。

5月までの静穏日月平均の推移を重ねたものを図16に示す。竹藪伐採後の2009年11月の値は、前年の値よりも10V/m以上大きく、伐採前の2009年10月の値と比べても2倍近く増加しており、これを自然変動と考えるのは不自然なように思われる。しかし、2009年11月以降の観測値から竹藪の伐採によると思われる変化を差し引いてやると、図17に示すとおり、2009年11月の値は2008年10月の値とほぼ同じであることがわかる。したがって、少なくとも2009年11月の観測値の増大は、自然の季節変動と竹藪伐採による効果が重なった結果だと解釈できる。

2009年12月以降の観測値は、竹藪伐採の効果と思われる変化を差し引いたとしても、前年よりも高

い水準で移行している。過去6年間の、7月から翌年6月までの観測値の推移を重ね合わせたものを図18に示す(2009年11月以降は、伐採効果と思われる変化を差し引いている。また、2011年3月以降は福島第一原発の事故の影響で大気電場が大幅に減少している(Takeda et al. 2011)ので図には載せていない)。どの年でも冬場に大きくなる傾向は共通しているものの、2009年12月以降の観測値は、過去3年間と比べても大きい値であり、2005年から2006年にかけての変化に近いものである。図19に2010年までの年平均値の推移を示す。伐採後の2010年の値は2005年の水準に戻っているように見える。数値計算が伐採による効果を正しく計算できているとすると、図18のグラフは伐採以後も伐採

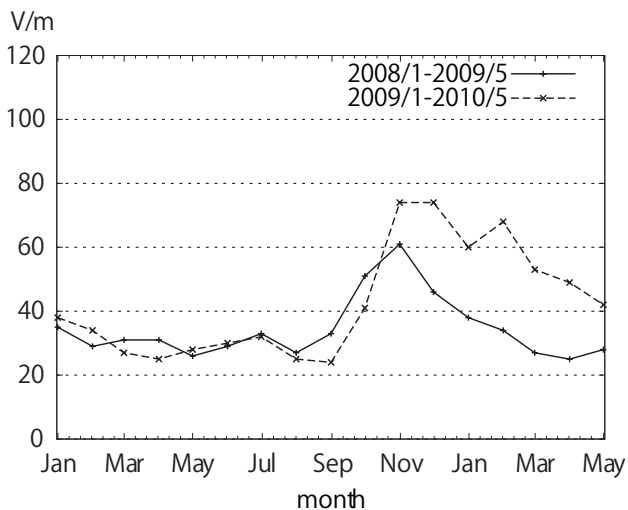


図 16 2008/1～2009/5 および 2009/1～2010/5 の静穏日月平均値

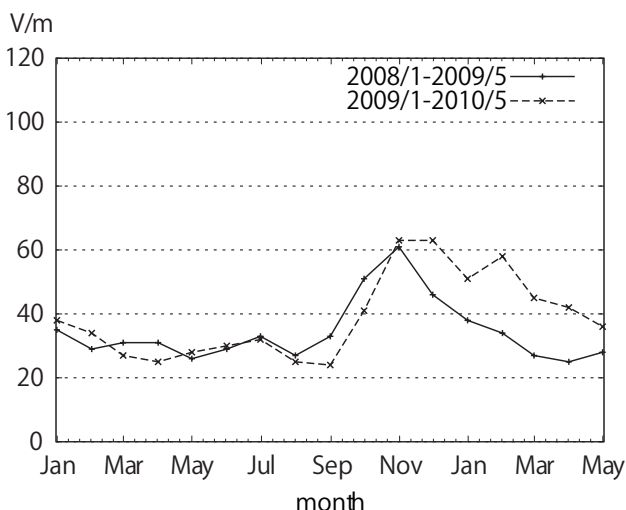


図 17 2008/1～2009/5 および 2009/1～2010/5 の静穏日月平均値 (2009/11以降のデータは竹藪伐採を行わなかったとして補正した値)

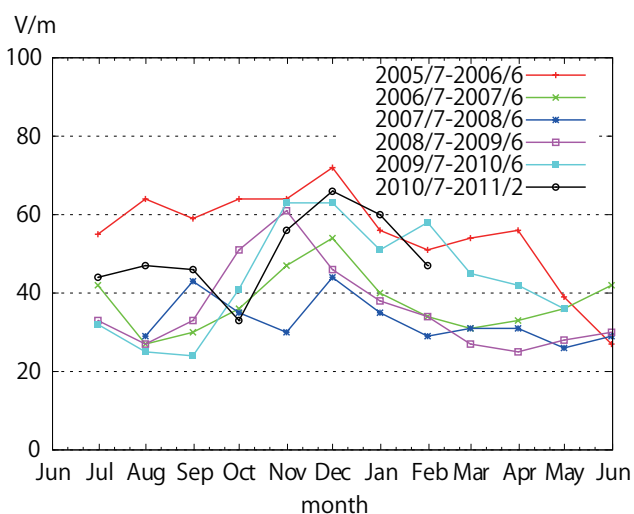


図 18 過去6年間の7月から翌年6月までの観測値の推移

前の水準で推移するだろうし、図 19 の 2010 年の観測値も前年の 1.2 倍程度の大きさとなると予想されるが、実際に観測された値はそれよりもかなり大きい。ただ、過去にも 20V/m ほどの変動があった年もあり、現時点では自然の変動が重なった結果であるのか、数値計算が伐採効果を過小評価しているのかは判断できない。

観測値が下がり始めた 1992 年から竹藪の影響が出始め、毎年同じ割合でその影響が増大したと仮定して、竹藪がなかった場合に予想される年平均値の推移を図 20 に示す。図 20 では観測値の減少が見られるようになるのは 2002 年からである。これは、女満別の観測値が減少傾向を示し始めた時期と一致する。竹藪の影響が出始めた時期や影響の拡大率を確定する根拠は無いため、図 20 をそのまま信用することは出来ないが、近年の大気電場観測値の減少は、真の減少傾向と竹藪の成長による影響が重なったものであることが示唆される。

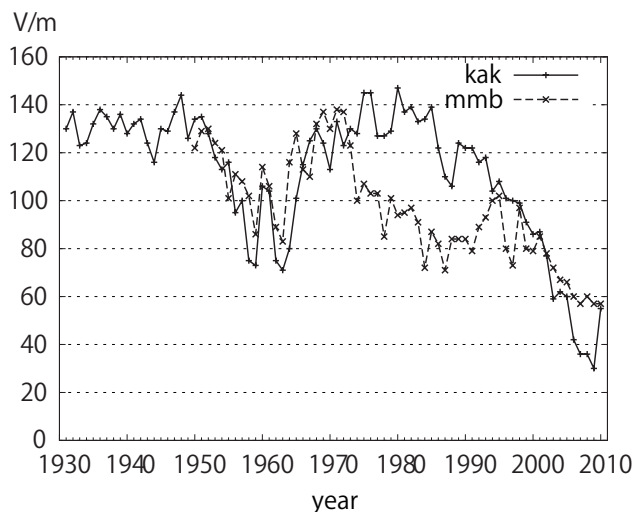


図 19 大気電場永年変化 2010 年までの年平均値 (実線：柿岡 点線：女満別)

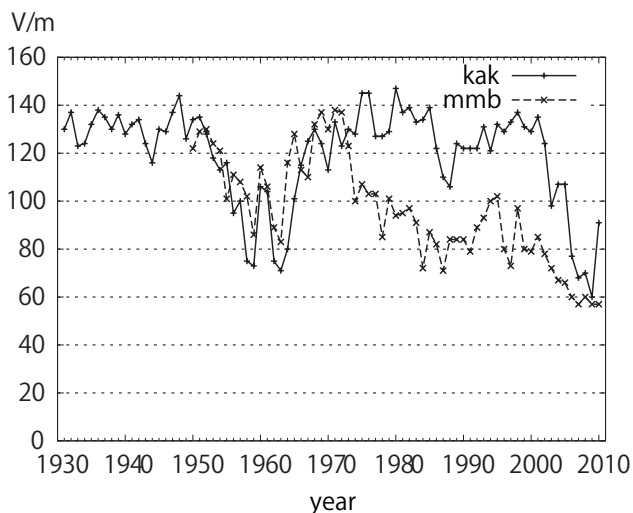


図 20 竹藪が無かったと仮定した場合の観測値の推移 (実線：柿岡 点線：女満別)

竹藪が観測室のすぐそばに迫るまでその影響を重視していなかったのは、定期的な平面更正を行わず、観測環境の変化を把握してこなかったためであろうと考えられる。今回の数値計算の妥当性の検証のためにも、今後の観測環境の把握のためにも、平面更正のための観測手法を考案し、定期的な平面更正を行うべきであると考えられる。

5. まとめ

空中電気室周辺に成長してきた竹藪が観測値に影響を及ぼしている可能性があることから、2009年10月に竹藪の一部の伐採を行った。

竹藪の成長および伐採によって観測値に与える影響を理論計算により見積もった。竹藪が一切無いという境界条件からは、平面更正係数1.26という、過去に観測により決定された平面更正係数1.3と近い値が得られた。また、竹藪の伐採による観測値への影響は、伐採後では伐採前に比べて1.17倍ほどの観測値の増加が期待できることがわかった。さらに、観測開始当時から現在に至るまでの竹藪の成長による観測値への影響については、今回の伐採前の環境では、竹藪が一切無かった場合に比べて、観測値は1/2ほどに減少している可能性があることがわかった。

1992年以降の観測値の減少は、自然の変動と竹藪による影響が重なったものと解釈できる。今後の観測環境の監視のためにも平面更正係数を決定するための観測手法を考案し、定期的実施する必要がある。

謝辞

竹藪の伐採に尽力いただいた2009年当時の観測課職員に感謝申し上げます。

参考文献

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

**Influence of environmental change near the atmospheric electric field
observation hut at Kakioka
- numerical calculations to estimate the effect of a nearby bamboo grove-**

by

Shingo NAGAMACHI, Takeshi TOYA and Yuki YOSHIKAKE

Kakioka Magnetic Observatory

Received 11 January 2012; accepted 14 September 2012

Abstract

The strength of the atmospheric electric field observed at Kakioka Magnetic Observatory has decreased since 1990. To investigate whether this decrease is related to the growth of a bamboo grove that has encroached to the observatory, we cut a 12 m×20 m area of the grove to ground level between August and October 2009. We numerically simulated the atmospheric electric field and determined coefficients of in situ calibration for three boundary conditions: (1) no bamboo grove, (2) before cutting, and (3) after cutting. Case (1) gave a coefficient of in situ calibration of 1.26, which is comparable to the value of 1.3 that has been used since observations commenced at Kakioka; according to old photos, there was no bamboo grove at that time. For case (2) the coefficient was 2.52 and for case (3) it was 2.17. The observed electric field after cutting the bamboo was about 20% higher than that before cutting. Furthermore, the observed electric field before cutting the bamboo was about 50% lower than that originally recorded before the bamboo grove had developed. These results and comparison to the atmospheric electric field observed at Memambetsu observatory suggest that the recent decreasing trend of the strength of the observed atmospheric electric field at Kakioka is a response to both growth of the bamboo grove and global atmospheric changes.