

落雷被害の予測に関する基礎的検討

Basic Research on Prediction of Lightning Damage

吉田 等明, ○小林 友和, 沼田 徳重, 恒川 佳隆, 三浦 守

Hitoaki Yoshida, ○Tomokazu Kobayashi, Norishige Numata, Yoshitaka Tsunekawa, Mamoru Miura

岩手大学工学部情報工学科

Iwate University Department of Engineering Faculty of Computer and Information Science

キーワード: 落雷被害(lightning damage), ニューラルネットワーク(neural network),
コンピュータネットワーク(computer network), 地電流(telluric current)

連絡先: 〒020-0066 盛岡市上田4丁目3-5 岩手大学工学部情報工学科
三浦 守, Tel.: 019-629-2838 (Fax 兼用), E-mail: mamoru@cis.iwate-u.ac.jp

1. はじめに

雷害は積乱雲(雷雲)からの放電, 電撃による災害で, 被害対象物には人的(死傷), 建物(損壊, 火災), 電力(施設損壊, 停電), 通信(施設損壊, 通信途絶・妨害), 交通(運行支障, 航空機などの損壊), 農作物, 林野火災などがある¹⁾. 岩手大学内のコンピュータネットワークもまた落雷によるものと思われる被害を受けている(図1). 被害状況としては, トランシーバが破壊された事が平成6年以降3回報告されており, 配線は, ビニール製のパイプかコンクリート製の共同溝の中を通してある. ビニール製のパイプの中を通してある場所だけが被害を受けているが, 必ずしもビニール製パイプを用いている全ての場所で被害が起こっている訳ではない. 本研究は, この被害が地電流によるものと推測し, 地電流の測定データと気象データを用いて落雷被害を予測し, 学内のネットワークを保護する事を目的とする. 今回はその予備実験として, ニューラルネットワーク(以下: NN) (バック

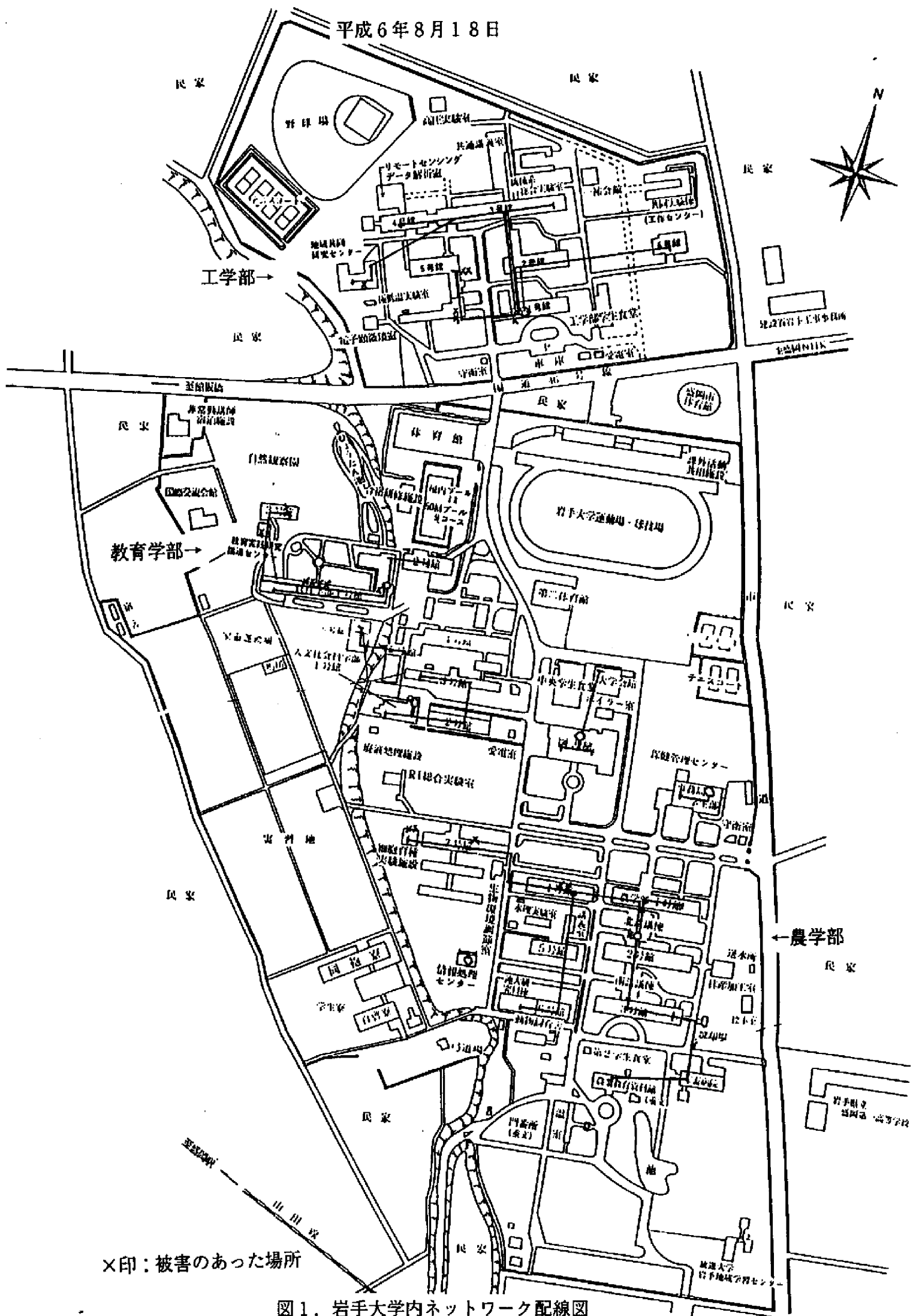
ロパゲーションモデル) を用いて, 気象データだけから落雷の予測と落雷被害の予測を行った結果を報告する.

2. 雷についての基本的考察

2-1. 雷雲の発生原理²⁾

夏季, 温帯地方における雷雲(積乱雲)の一生について以下に述べる(図2). 発生期には, 上昇流が雲内を占め, 地上からは背が高くなっていく入道雲としてみえる. このときすでに雲内では霰・雹などができているが, 強い上昇流で支えられ地上には落ちてこない. このころから雷放電が始まる. 降水粒子がさらに大きく成長すると上昇流では支えきれなくなり, 地上に落ちてくる. 落下する降水に空気が引きずられ, また降水の蒸発による冷却も手伝って, 下降流が雲の下層に現れ, 雲内に上昇流と下降流の対ができる. 下降流は地表付近では水平流に転じ, 降水域から周囲に発散する. 流出前面に寒冷前線に似た不連続線ができ, 通過に伴って風・気温・湿度の

平成6年8月18日



×印：被害のあった場所

図1. 岩手大学内ネットワーク配線図

急変がみられる。このころ上昇流も 10 m s^{-1} 以上になり最大となる。ときには、雲の上部では 30 m s^{-1} にも達する。この時期を最盛期とよび、地上では降水粒子の蒸発により冷えた下降気流によって、冷気塊が広がり雷雨性高気圧を形成する。気圧計の自記記録に、雷雨高気圧の通過にともない気圧が急昇する部分が現れる。この部分は突き出た鼻のようにみえるので雷雨の鼻とよばれる。

その後、上昇流は衰え、雲の下部から雲全体に下降流域が広がり衰弱期に入る。この時期には雲頂の上昇も止まり、地表の雨も弱まる。このような過程は約一時間で終わる。以上の話は一つの雷雨の一生について述べたものである。一般には、雷雨は群をなして起きることが多く、数時間続くものもある。雷雨のなかには雷雨細胞ともよばれる多数のセルが存在し、さまざまな時期のものがある。雷雨のあちこちから雷雨細胞の雷光や雷鳴を観測することがよくある。

夏季の雷雨は圏界面にまで達し、 $12\sim 16 \text{ km}$ の高度にまで発達することが多い。一方、冬季の日本海上の雷雨の場合は背が低く高度は $3\sim 5 \text{ km}$ 程度である。日本海側の地方では大雪の降る前あるいは最中に雷が鳴り、これを雪雷または雪起こしとよぶ。雷放電を起こす雲はいずれの場合も、雲頂気温は -20°C 以下であることが多く、また雲内に強い上昇流が存在することが多い。これらは雷発生の必要条件と考えられる。

雷はそれを引き起こす雲の成因から、熱雷・界雷・渦雷に分類される。熱雷は大気的不安定な状況下で発生し、夏季の小笠原気団などの気団内で起きるため気団雷ともよぶ。地表付近の湿潤な空気が夏季の強い日射によって熱せられたり、上空に冷たい空気が入ってくることにより生じる不安定によって起きる。温暖な気団と寒冷な気団が接する前線付近で発生する雷を界雷または前線雷という。発達した低気圧の中心や台風にもよって発生する雷を渦雷または低気圧雷ともよぶ。いずれ

の雷も発達した積乱雲から発生し、大雨を伴うことが多い。

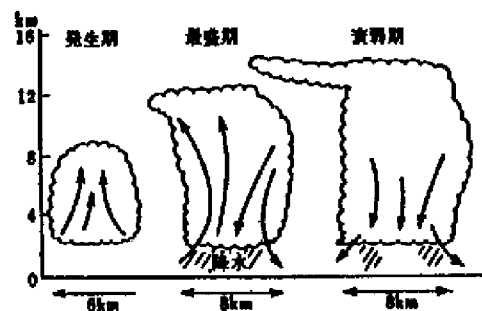


図2. 雷雨の発達段階¹⁾

2-2. 電荷の発生分離機構

雲が電気を帯びて雷雨になる原因にはいくつかの学説があるが、結局、水蒸気が上昇気流によって上空で電や霰となり、摩擦・衝突・分離などによって、プラスかマイナスの極性をもった粒子がたくさん集まって雲を形成する³⁾。普通、互いに異なる物体をこすり合わせると摩擦電気ができるが、雷雨は、同じ氷同士がこすり合わさって、プラス、マイナスができる。この原因は、氷の表面の結晶の状態や、氷の温度に関係があるらしい。氷の粒のうち、細かい氷晶はプラスに帯電して上層部に、氷晶より大きい氷、霰は、マイナスに帯電して下層部に分布する。つまり、雷放電の元になる静電気は、氷点下以下の温度領域で生成される⁴⁾。

上空に発生した雲には、大きな塊もあれば小さな塊もあり、水蒸気の粒子の大小や、雲を構成している水蒸気の粒子の密度も、千差万別である。一つの双極子の雲もあれば、幾重にも積み重ねられた雲もある³⁾。(図3)

2-3. 雷放電⁵⁾

雷光はジグザグに曲がったり、樹木の枝のように分かれたりして、地上に一気に下りてくように見えるが、実際はそうではない。最初は、雲の一番下から数十メートル進んで止まり、また少したって、前の経路を通過してさ

らに数十メートル先に進むといったことを繰り返しながら進んでいく。このような一連の過程は100分の1秒ほどの短時間におこなわれ、しかも1つの雷光とみられるものは、10分の1秒の間に数回繰り返されている。こうして地上に達すると、今度は地面から雲に向かって雷光が一気に戻っていく。

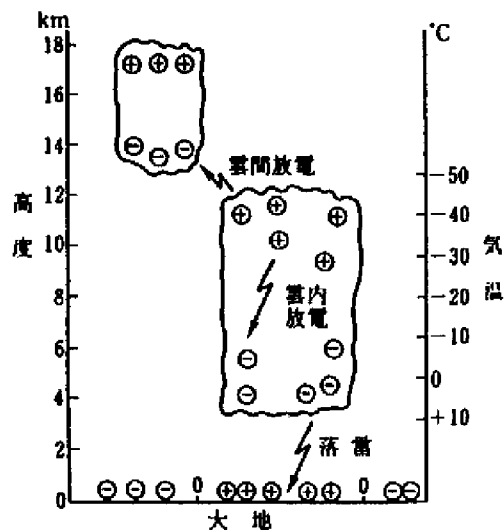


図3. 雷放電の種類³⁾

3. 落雷被害予測システムの構成

3-1. 気象データ

図4は盛岡地方気象台で観測した気象データをそれぞれ-1~1に基準化したものをグラフに表したものである。この日は16時頃に落雷があった。

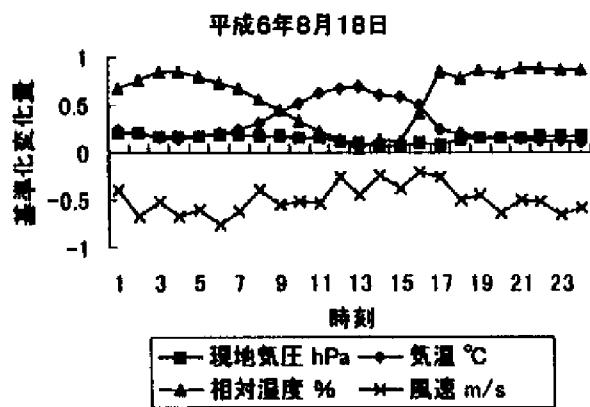
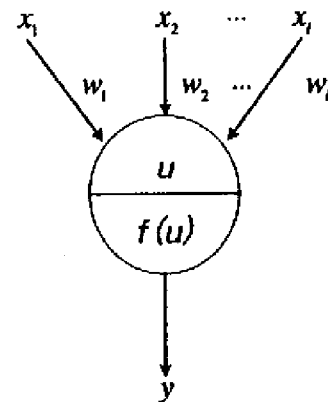


図4. 気象データのグラフ

3-2. ニューロンモデルと落雷被害予測システムの全体構成

落雷被害予測システム(図6)に用いたNNは、図5のニューロンモデルで構成した図7

~図9に示す階層型ネットワークであり、バックプロパゲーション法により学習を行う。今回は、局地データが得られていないため、どのような落雷予測NNがシステムに適しているのか3つのNNで調べる。



$$y = f(u)$$

$$u = \sum_i w_i x_i$$

$$f(u) = 1 / \{1 + \exp(-2.0 \times u / u_0)\}$$

y: 出力

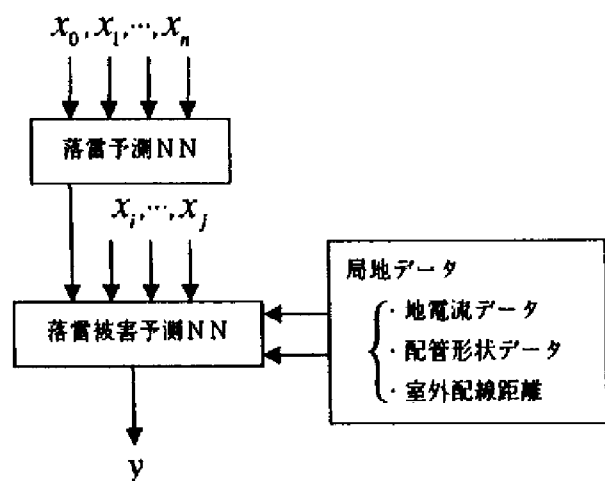
w: シナプス重み

x: 入力

f(u): シグモイド関数

u0: シグモイド関数の傾き

図5. ニューロンモデル



x_0, x_1, \dots, x_n : 気象データ

$x_0, x_1, \dots, x_n \ni x_i, \dots, x_j$

y: 出力 0~1

図6. 落雷被害予測システム

3-3 落雷予測NN

落雷予測をするためには、どのような気象条件を入力要素として用いたらよいか調べるため、NN1(図7)の入力要素には、第2章より、気圧、気温、風向、風速、湿度、時刻を入力する。入力値は、1時間ごとのデータとその変化量をそれぞれ-1~1に基準化したものを用い、風向は2進数4bitで表される0000~1111の値を北から時計回りにそれぞれ16方位に割り当てた。時刻の与え方はなめらかな周期変化となるようにsin関数を用いて基準化した。

NN2(図8)の入力要素は、NN1の入力要素から風向を除いたものであり、NN3(図9)の入力要素には、気象データの中でも落雷に伴う変化がよく現れている気圧、風速に加え時刻を入力する。

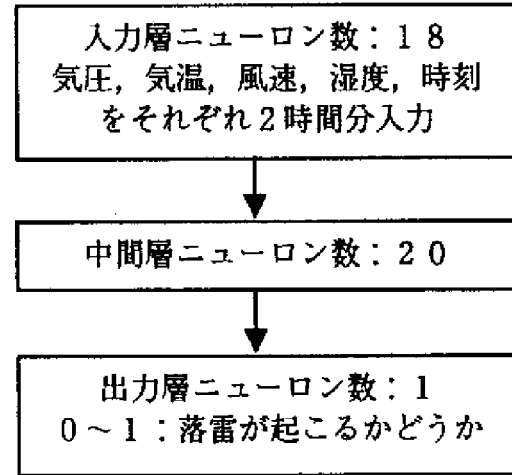


図8. NN2

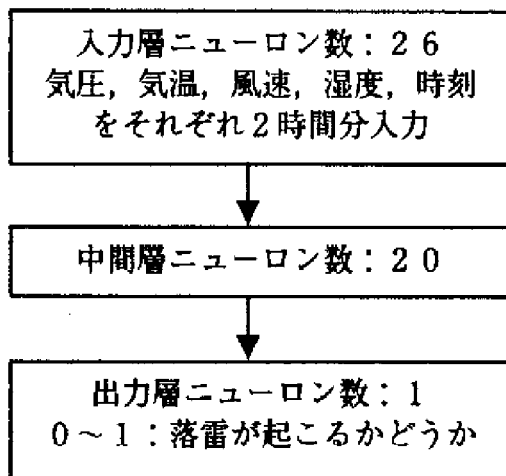


図7. NN1

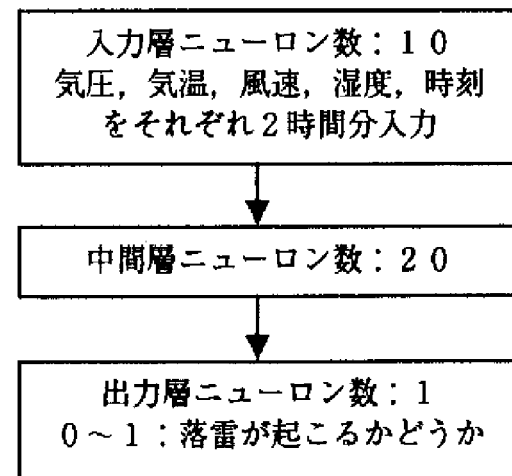


図9. NN3

表1. 学習条件(学習回数 10000回)

		学習定数	シグモイド関数の傾き	落雷ありの学習データ数	落雷なしの学習データ数
落雷予測	NN1, 2, 3	0.01	0.9	9	5
		学習定数	シグモイド関数の傾き	落雷被害ありの学習データ	落雷被害なしの学習データ
落雷被害予測	NN2, 3	0.01	0.9	4	9

4. 結果

4-1. 落雷の予測結果

以下の表に、落雷の有無の判定を20回行い正答した割合を示す。入力要素を減らすに従い正答率がよくなり、表3、表4の結果から、落雷なしの平均正答率はあまり変わらないが、NN3の方が高い正答率で落雷の発生を予測していることがわかる。

表2. NN1を用いた予測結果

		落雷なしのデータ							
データ番号		0	1	2	3	4	5	6	7
正答率(%)		25	60	65	20	80	35	95	85
		落雷ありのデータ							
データ番号		8	9	10	11	12	13	14	15
正答率(%)		35	90	75	95	15	20	25	80

落雷なしの平均正答率 58.1%

落雷ありの平均正答率 54.4%

表3. NN2を用いた予測結果

		落雷なしのデータ							
データ番号		0	1	2	3	4	5	6	7
正答率(%)		15	100	80	60	35	70	100	100
		落雷ありのデータ							
データ番号		8	9	10	11	12	13	14	15
正答率(%)		80	100	75	95	5	75	35	35

落雷なしの平均正答率 70%

落雷ありの平均正答率 62.5%

表4. NN3を用いた予測結果

		落雷なしのデータ							
データ番号		0	1	2	3	4	5	6	7
正答率(%)		0	100	85	85	5	75	100	100
		落雷ありのデータ							
データ番号		8	9	10	11	12	13	14	15
正答率(%)		100	70	95	100	0	100	10	100

落雷なしの平均正答率 68.9%

落雷ありの平均正答率 71.9%

4-2. 落雷被害の予測

落雷被害の予測は、被害の回数が少ないため学習データの再認識にとどめる。入力要素の多いNN2の方が特徴を詳しく学習するため再認識の結果は良い。しかし、現段階では、他のデータを用いて気象データだけから落雷被害を予測することはできていない。

表5. NN2を用いて学習データを再認識させた結果

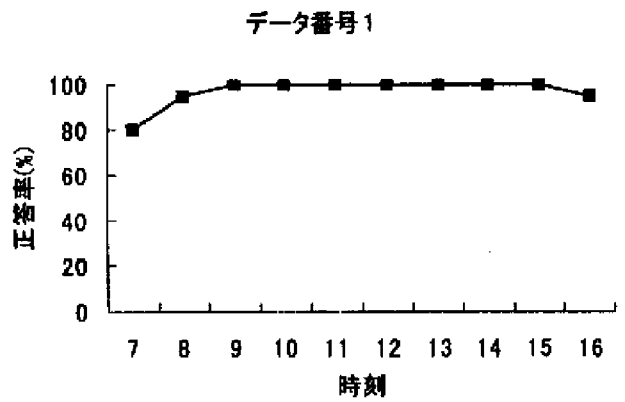
		落雷被害なしのデータ								落雷被害ありのデータ				
データ番号		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
正答率(%)		100	100	100	90	100	90	100	100	100	90	100	100	100

表6. NN3を用いて学習データを再認識させた結果

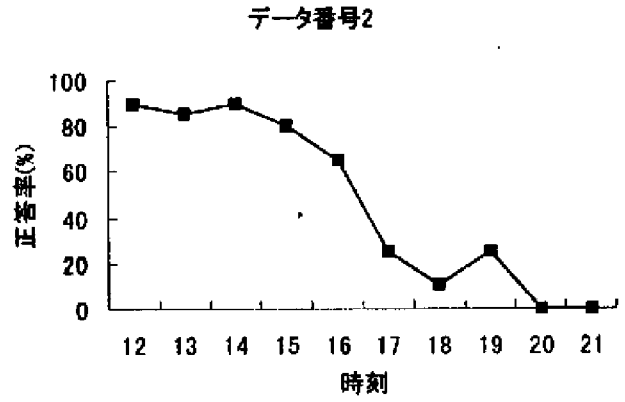
		落雷被害なしのデータ								落雷被害ありのデータ				
データ番号		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
正答率(%)		95	75	95	5	25	100	70	90	100	100	100	100	95

4-3. 落雷がなかった時の予測結果

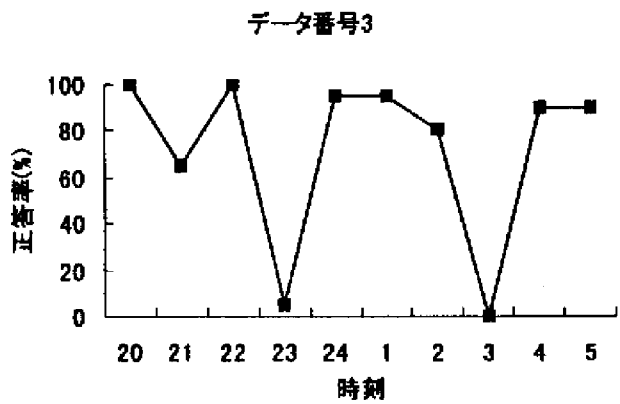
下の図は、落雷なしの場合に落雷なしと正答した割合(%)を時刻ごとに示したものである。天候の急変により落雷ありと判定することもあるが、それ以外は落雷なしと判定していることから学習が成功していることが示唆される。



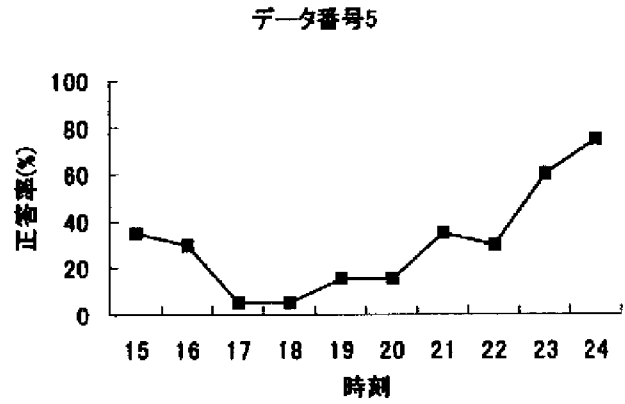
平成5年8月19日 曇り



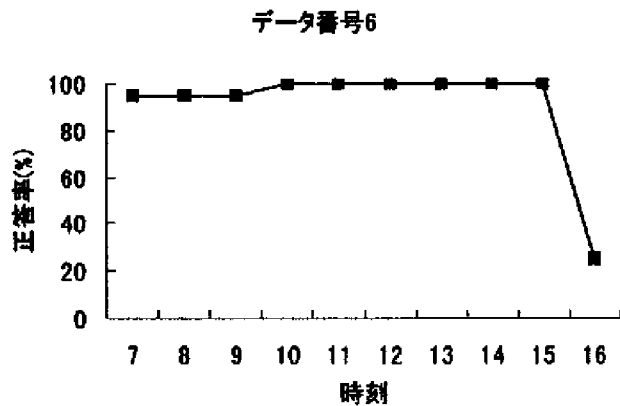
平成5年9月10日 17時から雨



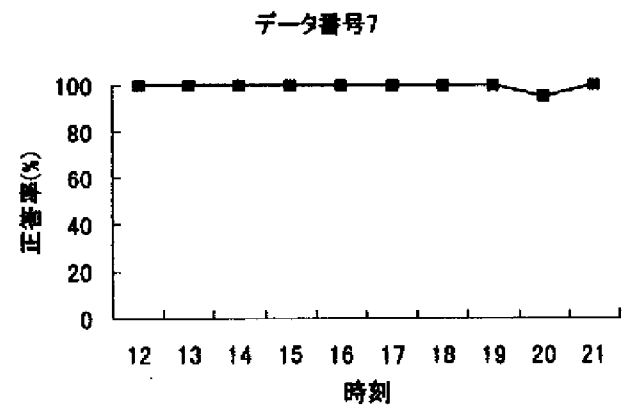
平成8年7月2日 23時雨



平成8年8月29日 曇り



平成9年9月10日 晴れ



平成9年9月30日 曇りのち晴れ

図10. 落雷なしの認識データのうち認識率の高かった日の様子

4-4. 落雷が起こった時の予測結果

下の図は、落雷ありの場合に落雷ありと正答した割合(%)を時刻ごとに示したものである。雷は○で囲った時刻から1時間以内に発生している。それぞれのグラフから、1~2時間前に落雷を予測することが可能であることが示唆される。

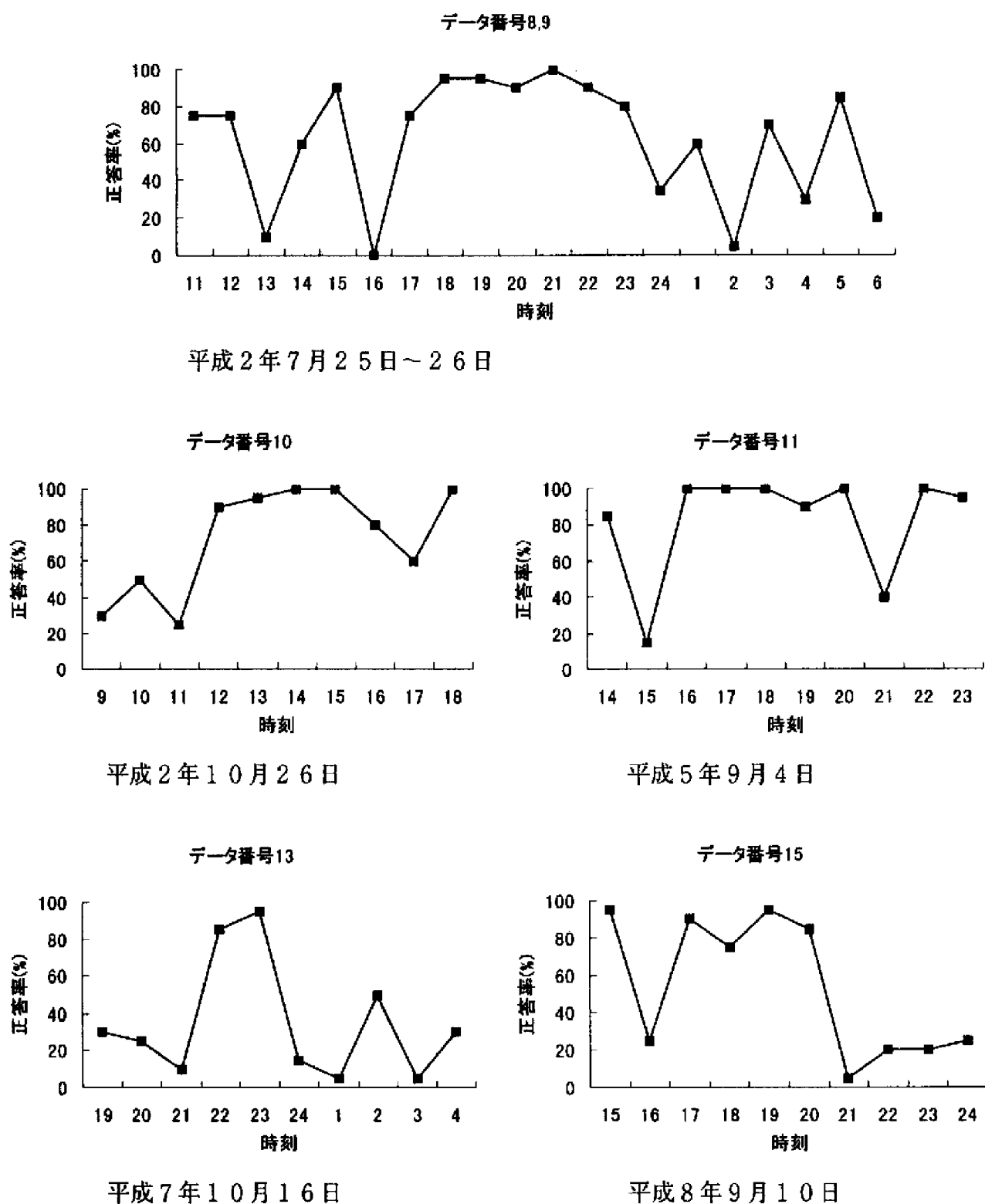


図11. 落雷ありの認識データのうち認識率の高かった日の様子

5. 地電流測定システム

地電流の測定は、落雷の接近や地域の特徴を知ることが目的であり、現在検討中のシステムは、図12に示す構成である。テスト段

階として地中に埋設したセンサに誘発する電圧を測定する。さらに、将来的には、地電流の流れてきた方向が分かるように改良していく予定である。

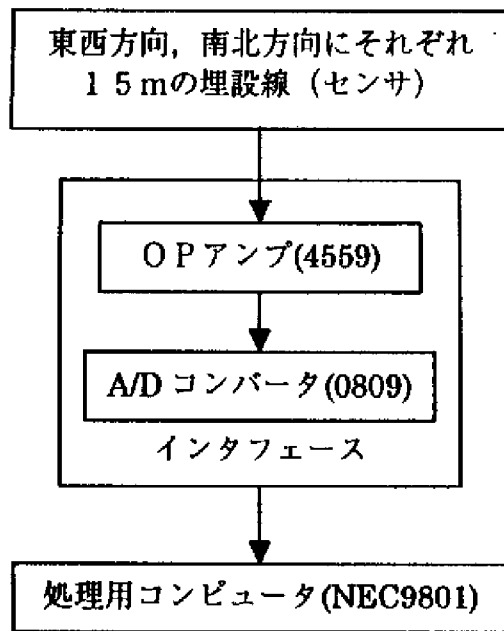


図12. 測定システムの構成

図12の測定システムで測定したデータを図13, 図14に示す。図13が定常状態であり, テストとして誘起電圧をかけたものが図14である。ただし, このままでは落雷による地電流が発生すると測定システムが破壊されるので, 今後, 改良していく予定である。

****電界強度 グラフ表示****
 測定日 : 98/05/04 測定時刻 : 12:00-20:00

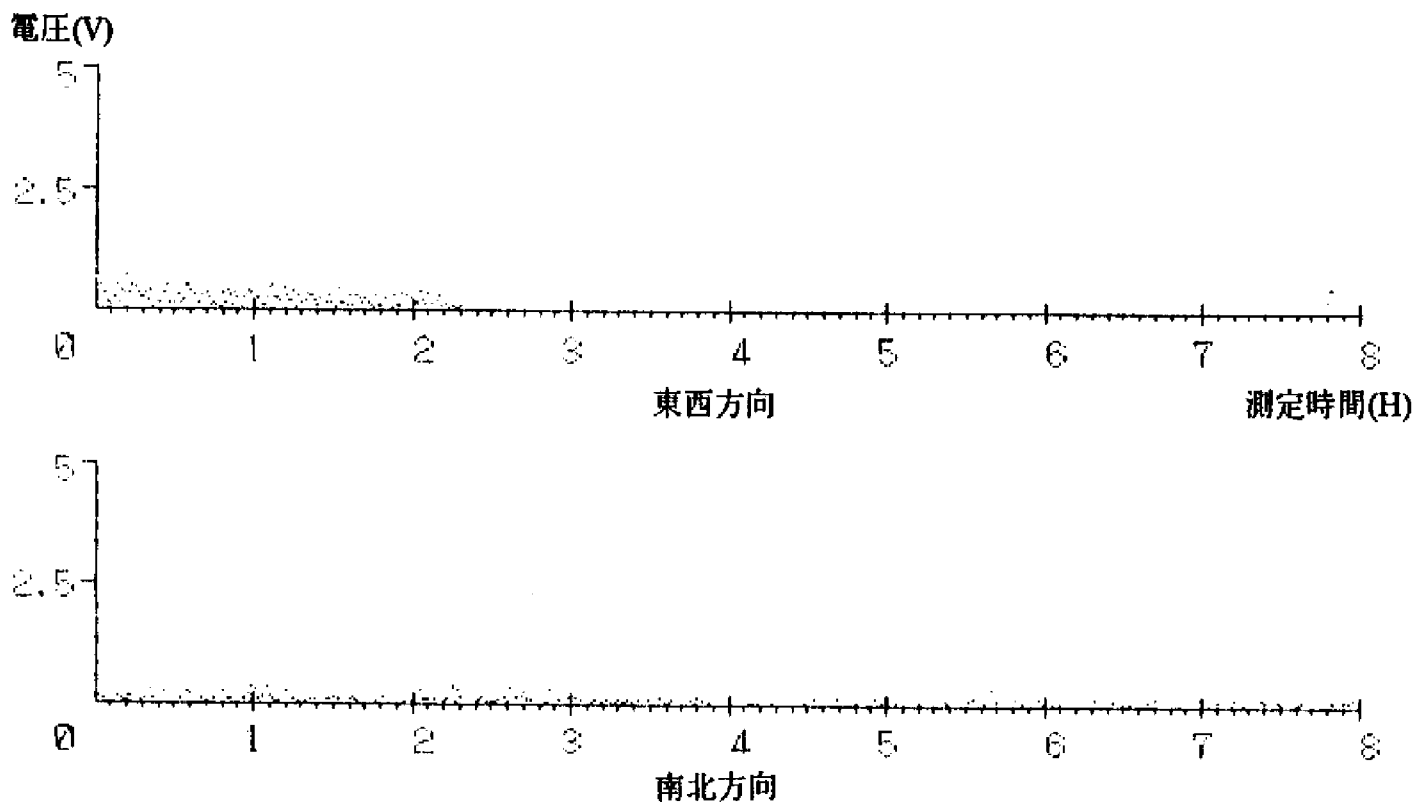


図13. 測定データ

****電界強度 グラフ表示****
 測定日 : 98/05/01 測定時刻 : 12:30-20:30

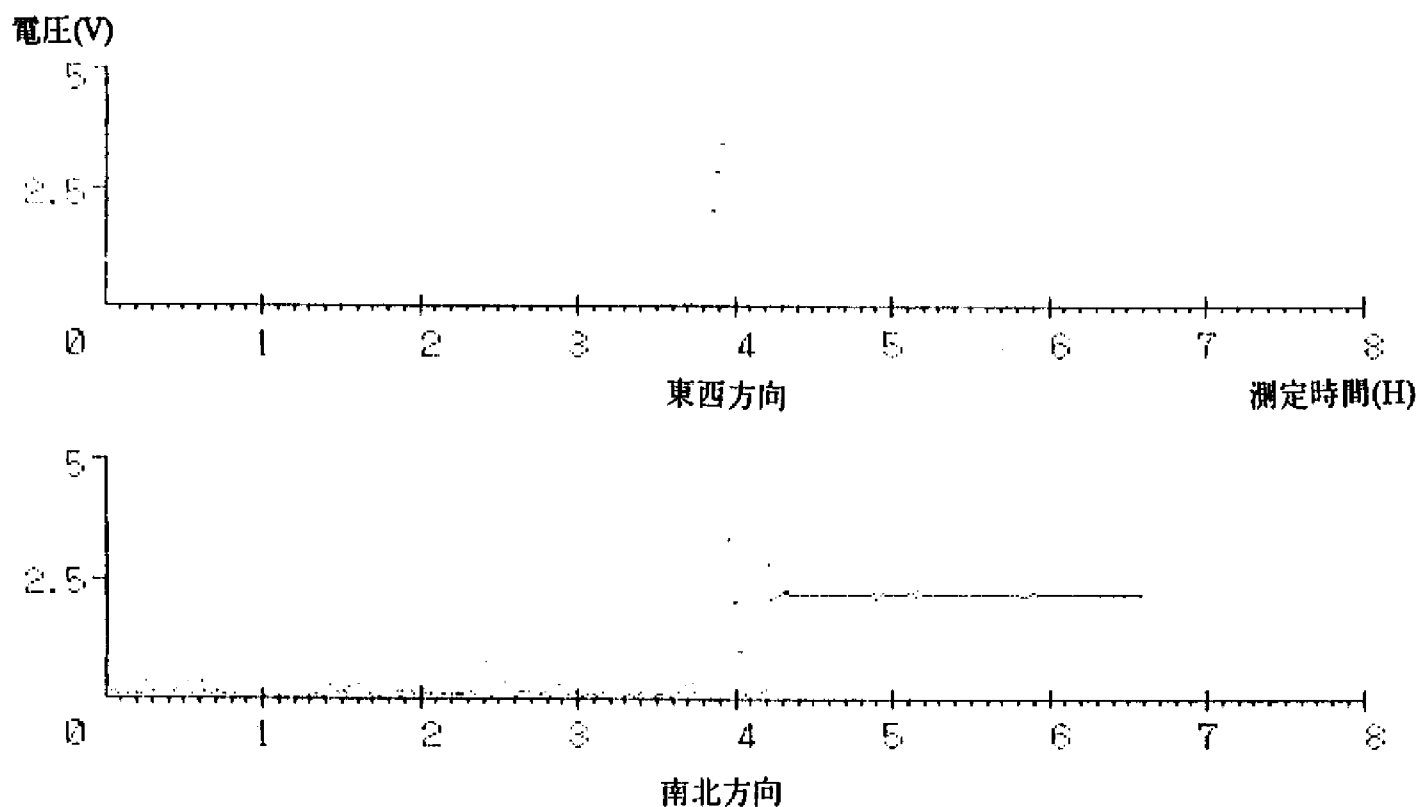


図14. テストデータ

6. まとめ

研究の第1段階として、気象条件と落雷の発生についてニューラルネットワークを用いた予測を行った。その結果、多くの気象条件を入力要素として用いると1つ1つの雷の特徴をとらえすぎるため、あらゆる雷について予測するためには、気圧、風速及び時刻のような特徴が表れやすい気象条件を用いた方が72%という高い確率で落雷を予測できることが明らかとなった。また、雷が発生する1~2時間前に落雷予測が可能であることから、この段階で、ワークステーションをシャットダウンさせるなどの処置を講じることにより、被害を最小限に食い止めることが可能と思われる。

今後は、さらに局地データなどを加味して、落雷被害予測システムの完成を目指す予定である。その際、地電流データを測定してこの目的に応用することを計画している。

参考文献

- 1) 気象ハンドブック編集委員会(編): 気象ハンドブック, 111/112/543, 朝倉書店(1979)
- 2) 和達 清夫(監修): 気象の事典, 75/76, 東京堂出版(1993)
- 3) 饗庭 貢: 雷の科学, 12/15, コロナ社(1990)
- 4) 速水 敏幸: 謎だらけ・雷の科学, 60/67, 講談社(1996)
- 5) NHK放送文化研究所(編): NHK気象ハンドブック, 102/105, 日本放送出版協会(1995)