

雷ナウキャストの提供開始

笠原 真吾*

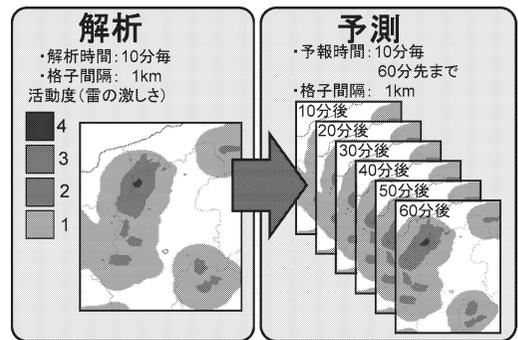
1. はじめに

2006年に発生した北海道佐呂間町における竜巻や、2008年の兵庫県神戸市都賀川における急な増水など、近年、狭い範囲に発生する激しい気象現象による甚大な被害が発生している。気象庁では、発達した積乱雲に伴う現象（雷や突風、ひょう、急な強い雨）について、雷注意報などで注意を呼び掛けているが、狭い範囲に発生し刻々と変化するような現象について被害を軽減するためには、観測を基に直近の変化傾向に基づいた予測情報を素早く入手したうえで、的確な対応をとることが必要である。

気象庁では、気象レーダーの観測に基づく雨の短時間予報として、従来から提供してきた「降水ナウキャスト」に加え、2010年5月から竜巻などの激しい突風に対して「竜巻発生確度ナウキャスト」、雷に対して「雷ナウキャスト」の提供を開始した。これらのうち、本稿では、「雷ナウキャスト」について、解析・予測手法とその特徴、事例、利用方法などを紹介する。

2. 雷ナウキャストの概要

雷ナウキャストは、雷の激しさや雷の可能性を1km格子単位で解析し、その1時間後（10分～60分先）までの予測を行うもので、10分毎に更新して最新の予報を提供する（第1図）。雷の解析では、雷監視システム（全国30ヶ所の検知局による雷標定システムで、対地放電と雲放電を検出する。以下「LIDEN」とよぶ）による雷放電の検知及びレーダー観測などを基にして、雷の激しさや雷の可能性を活動度1～4で表す。1時間後までの予測は、移動予測が主となるが、雷活



活動度	雷の状況
活動度4 (激しい雷)	落雷が多数発生
活動度3 (やや激しい雷)	落雷がある。
活動度2 (雷あり)	電光が見えたり雷鳴が聞こえる。 落雷の可能性が高くなっている。
活動度1 (雷可能性あり)	現在は雷は発生していないが、 今後落雷の可能性はある。

(活動度1～4でない地域でも、積乱雲が急発達して落雷に至る場合がある。)

第1図 雷ナウキャストの概要。

動の盛衰の傾向も計算して取り込んでいる。

活動度1～4は第2図のとおり雷雲の発達ステージに対応しており、時間的にも段階的に表現される。雷雲の発達の段階と活動度との関係は、次のとおりである。

- ・活動度1は、積雲が発達を始めた段階から、雷雲に発達して衰弱するまでの間を対象としており、雷の可能性のある領域を解析するものである。
- ・活動度2は、LIDENで雲放電を検知した場合や、気象レーダーによる雨雲の立体的な特徴から、落雷

* Shingo KASAHARA, 気象庁予報部。

© 2010 日本気象学会

が間近に迫っているような雷雲を解析する（これを「レーダー雷解析」という）ものである。

- ・活動度3と4は、LIDENで既に落雷が発生している領域を解析するものである（雲放電の検知による活動度2の解析と合わせて、「LIDEN雷解析」という）。

3. 雷の特徴

雷ナウキャストは全国を対象に年間を通して、雷の状況を前節で示した活動度として解析・予測する。一方、雷は季節や地域によってその特性が異なるため、雷放電の検知やレーダー観測に基づく解析・予測にお

いては、それらの特徴の違いを考慮する必要がある。本節では雷の地域・季節の特性を紹介する。

3.1 LIDENによる放電検出数の統計

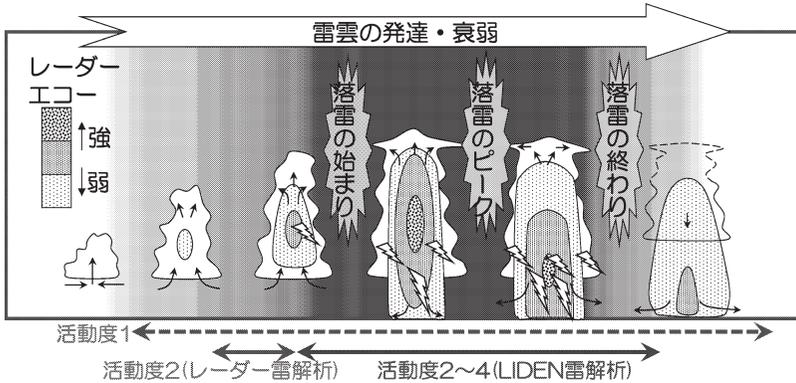
日本で発生する雷は、夏季と冬季でその性質が大きく異なる。夏季は内陸部を中心に熱雷が多い一方、晩秋から初冬にかけては日本海沿岸での雷が多くなる。月別の放電数を比較すると（第3図）、夏季は冬季に比べて約100倍となる。

3.2 夏季雷と冬季雷の継続時間

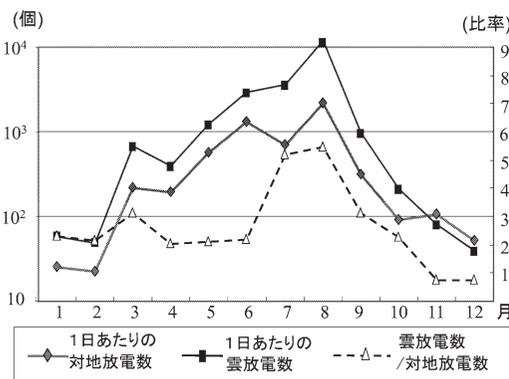
雷ナウキャストにおける予測手法は、放電活動が1時間程度持続することを前提とした移動予測が主体となる。したがって、雷現象の継続性は予測手法の有効性につながるものである。

第4図は関東地方の夏季雷（7・8月）と北陸地方の冬季雷（11・12月）の発雷事例の継続時間の度数分布である。

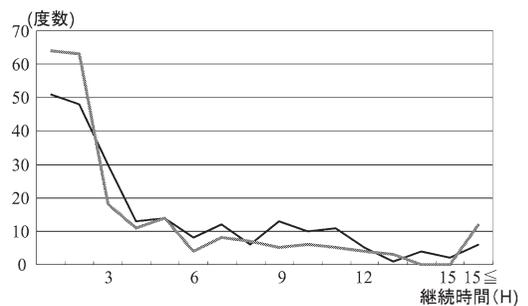
関東地方の夏季は、昼後に北部・西部の山沿いの地域で形成される積乱雲が、夕方にかけて平野部や沿岸部に達し、長い場合は深夜にかけて続くことが多い。一方、北陸地方の冬季は、日本海で形成される個



第2図 雷雲の発達過程と活動度の対応。



第3図 月別の放電数と放電種別の比率。2007年の放電数を月別に集計し、月の日数で割って1日あたりの放電数とした値（左軸、ログスケール）。また、破線は対地放電に対する雲放電の比率を示したもの（右軸）。



第4図 関東地方夏季雷（7・8月）と北陸地方冬季雷（11・12月）の継続時間ごとの事例数の度数分布。1時間区切りで集計。黒線は関東夏季、灰色線は北陸冬季。2005～2008年の集計で、対象とする関東夏季・北陸冬季の面積及び集計日数はほぼ等しい。対象地域において10分単位で30分連続で放電を検知した時刻から、30分連続で放電を検知しなくなった時刻までを一つの事例として扱った。

々の積乱雲は内陸に進むにつれて急速に消滅するが、同じ地域に海上から次々と雷雲が侵入するため、雷が同じ地域で比較的長い時間続くこともある。このように、夏季に比べ冬季は放電数が少ないものの、雷が継続する事例数は同程度あり、また継続時間毎の度数も同程度である(笠原 2010)。

3.3 放電密度と雷災害の関係

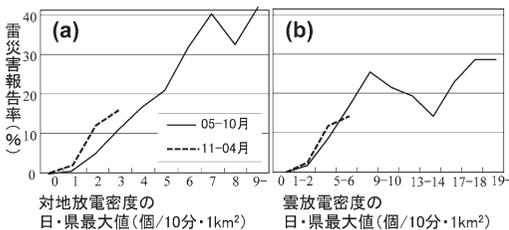
雷ナウキャストにおける雷の活動度は、雷の単位時間・面積あたりの検知数(これを、放電密度と呼ぶことにする)を基に表現する。放電密度と雷による災害の発生率の関係を調査した結果を第5図に示す。これから次の特徴を見てとれる。

- ・日最大放電密度が大きいほど、雷災害が発生しやすい。
- ・雲放電密度よりも対地放電密度の方が雷災害の発生との対応がよい。
- ・同程度の放電密度においては、夏季よりも冬季の方が雷災害が発生しやすい。

以上の特徴から、放電密度を基に決める LIDEN 雷解析の活動度(第4.3節)は、雷の激しさを表すとともに、雷により災害が発生する危険性にも対応している。

4. 雷ナウキャストでの雷の活動度の解析

第2節で解説したように、雷ナウキャストは3つの



第5図 放電密度と雷災害報告率の対応。日・県単位の対地放電(a)、雲放電(b)の放電密度最大値と雷災害報告率(雷災害報告のあった日数の割合)の関係。(a)と(b)の縦軸のスケールは同一。横軸のスケールは、日最大放電密度の出現する頻度が同程度になるよう調整した。つまり、対地放電の日最大放電密度9以上の発現する頻度と、雲放電の日最大放電密度19以上の発現する頻度は同程度である。統計期間は2005~2007年。ここで「雷災害報告」とは、気象官署が県単位で一連の擾乱ごとに取りまとめる気象災害報告のうち、落雷によるものである。

解析手法を組み合わせる活動度として表現する。本節では、各手法についてそれぞれ解説する。

4.1 雷可能性の解析(活動度1)

雷監視システムや気象レーダーによる実況を基にした雷雲の解析だけでは、事前には急発達する雷雲を捉えられない場合が多い。雷の可能性を時間的な余裕を持って把握するため、雷注意報が発表されている範囲内で実際に雨雲が発達してきた場合に、雨雲の周辺を「雷の可能性のある領域」として解析する。

活動度1は、活動度2~4に比べ頻繁かつ広範囲に出現するが、雷注意報と比べると地域や時間を30%~50%に絞込んでいる。また、月毎の精度評価で90%以上の落雷を捕捉できる見込みである。

4.2 レーダー雷解析(活動度2)

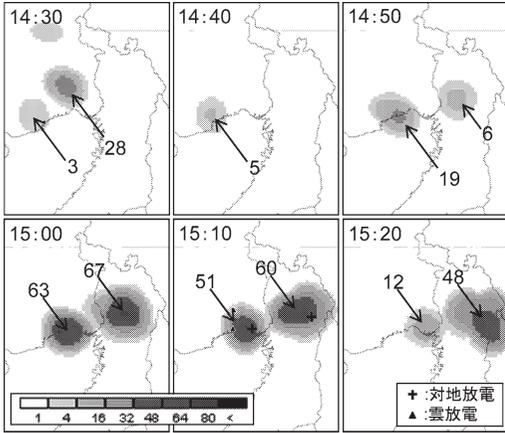
レーダー観測から得られる雨雲の3次元的な特徴、特に-10度や-20度等の等温度面高度に着目する手法は、雷雲の発達ステージを把握するのに有効であることが多く報告されている(Gremillion and Orville 1999; Michimoto 1991)。

そこで、10km格子単位で等温度面(主に-10度高度)エコー強度データなどのレーダー3次元データを説明変数とし、30分以内の対地放電の有無を目的変数として回帰式を作成し、10分毎に落雷の可能性が高まっている領域を指数として求める。指数は0~100の範囲で、値が大きいほど落雷の可能性が高い。さらに、この指数の値が高い領域と、対流性のレーダーエコー(対流性エコーの判別は、Steiner *et al.* 1995を参考にした)が重なる領域を、雷ナウキャストの活動度2(落雷の可能性が高くなっている)として表現する。これを、レーダー雷解析と呼ぶ。

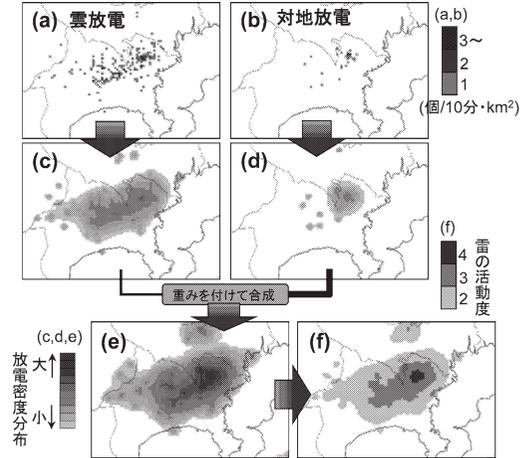
第6図に、2009年5月24日兵庫県で発生した雷災害に対する、レーダー雷解析の事例を示す。LIDENが放電を検知した時刻の前後の時刻では、放電の検知はなく、積乱雲は短時間で発達して落雷に至ったと考えられる。一方、レーダー雷解析の指数は、放電を検知する50分前から正の値を解析しており、10分前には63~67という大きな値となった。このように、レーダー雷解析によって、落雷に至る雷雲を事前に捉えることができる場合がある。

4.3 LIDEN 雷解析(活動度2~4)

第3.3節で述べたように、放電密度は雷の激しさとともに、災害が発生する危険性も表すものである。雷の災害に直接関係する現象は対地放電(落雷)であるが、一方で、雷雲が発達するとまず、上層の雲放電が



第6図 レーダー雷解析の事例(2009年5月24日兵庫県・大阪府)。14時30分から15時20分のレーダー雷解析の指数(0~100)の値と、LIDENで検出した対地放電・雲放電。



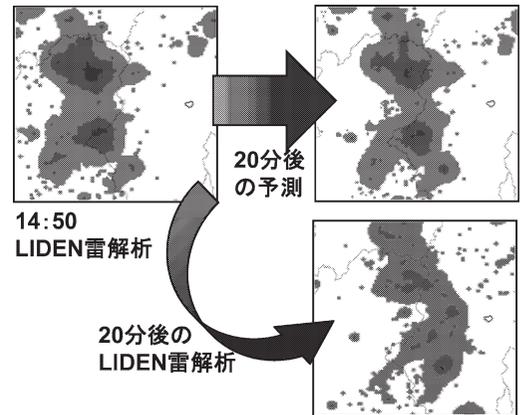
第7図 LIDEN 雷解析の処理のイメージ。(a), (b)は10分間・1km格子単位で集計した放電の個数。(a)は対地放電,(b)は雲放電の分布。(c), (d)は(a), (b)の放電の分布を平滑化して連続的に示したもの。(e)は(c), (d)を重みをつけて合成したもの。(f)は(e)の分布図を3段階(活動度2~4)で表現したものの。

発生し、その後対地放電に至る場合もある(高橋1986)。従って、雲放電のみの場合でも、その後雷災害に至る危険性が高くなっていると考えられることから、LIDENを用いた活動度の表現では、対地放電と雲放電のそれぞれの密度を重みを付けて合成する(第7図)。対地放電は雲放電よりも災害との関係が強いいため、重みの比率を大きくし、その割合は雷雲の構造を特徴付ける指標である-10度高度に応じて決定する。-10度高度が高い夏季は、雲放電に対する対地放電の個数の割合は小さいため、対地放電の重みの比率は大きい(10倍程度)。逆に-10度高度が低い冬季では、対地放電の重みの比率は小さい(4倍程度)。この重みを使って両者の放電密度を合成した値から、活動度2~4を表現する。活動度と雷の状況の対応は第1図に示したとおりである。

5. 雷ナウキャストの予測手法と精度

雷ナウキャストの予測プロダクトは、解析を基に主に移動予測により作成する。移動予測は、雨域の移動から求めた移動速度を用いている。さらに、移動予測に加えて個々の放電毎に継続性や盛衰傾向などを、統計的手法を用いて予測している(笠原2010)。

第4.1節、4.2節で説明した「雷可能性の解析」及び「レーダー雷解析」の結果は、移動速度で移動させて予測値を作成する。第4.3節で説明した「LIDEN 雷



第8図 LIDEN 雷解析の盛衰予測の事例(2008年7月27日14:50 岐阜・長野)。左上は14時50分の解析で、右上は20分予測。右下は、15時10分の解析。

解析」については、個々の放電をそれぞれ移動させて、密度を再集計する。ここで密度を集計する際に、盛衰の傾向の予測値を密度の重みとして掛ける。予測値の大きさは統計式を用いて算出している。

第8図は LIDEN 雷解析の予測で、減衰傾向を捉えた事例である。14時50分の解析に対して、15時10分の

解析では雷雲の規模が大きく減衰している。一方14時50分を初期値とした20分後の予測では、全体的に減衰効果を反映した表現となっている。しかし、個々の雷雲について盛衰を正確に予測することは難しく、現状では「盛衰傾向を予測できる場合がある」という段階である。

第9図は、半径5kmの範囲で雷ナウキャストの30分予測の活動度2以上と解析値の活動度2以上とを比較して、適中率・捕捉率を月別に計算したものである。夏季は適中率・捕捉率ともに高く捕捉率は70%、適中率は50%を超える。一方、冬季は夏季に比べて精度が低下する。

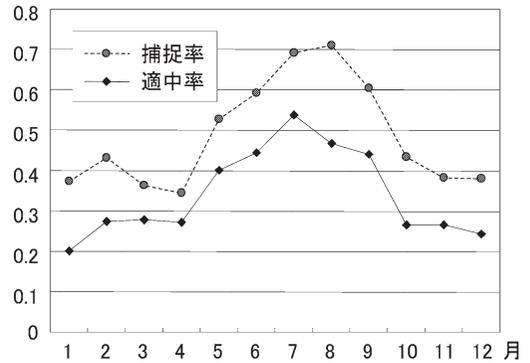
6. 雷ナウキャストの事例

雷ナウキャストの解析・予測の事例として、2008年8月19日の茨城県の事例を第10図に示す。8月19日の夕方頃、寒冷前線の通過に伴う激しい雷雨が発生した。17時頃に栃木県南東部から埼玉県境付近にある雷雲は、発達しながら東進し、18時頃茨城県の水戸市付近から南西に延びる地域に到達した。このときの落雷によって、水戸市及び石岡市でそれぞれ民家に火災が発生した。この事例では、エコーの移動も早いことから突然の雷雨であったと推測される。一方、雷ナウキャストの解析や予測を利用することで、雷雲の発達や移動から危険な状況が近づくことを把握できる。16

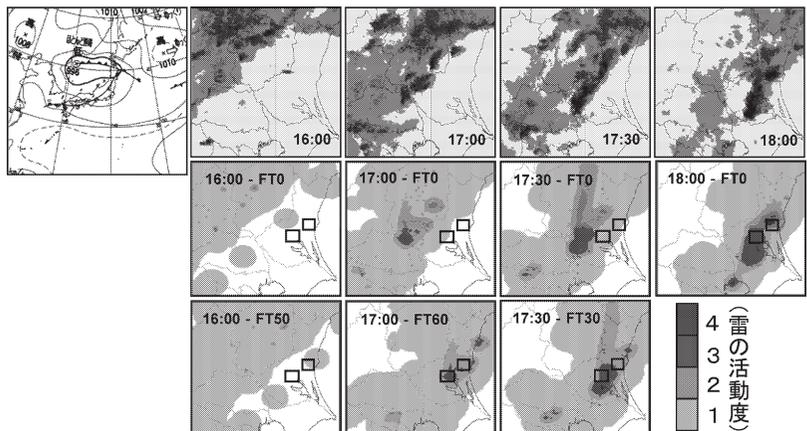
時の時点で、関東北西部の広い範囲で発雷が始まり、徐々に雷雲が発達を始めた。活動度1の領域は、実況では部分的に茨城県を捉えており、予測では徐々に茨城県に広がる傾向にあることを示している。17時には雷の活動が活発になり、1時間予測で水戸市から石岡市にかけて活動度2以上を示している。17時30分においても、エコーの領域は水戸市・石岡市にはかかっていないものの、南東進している雷雲は非常に発達しており、30分予測で両市付近に到達することが予想されている。

7. 雷に関する気象情報の利用

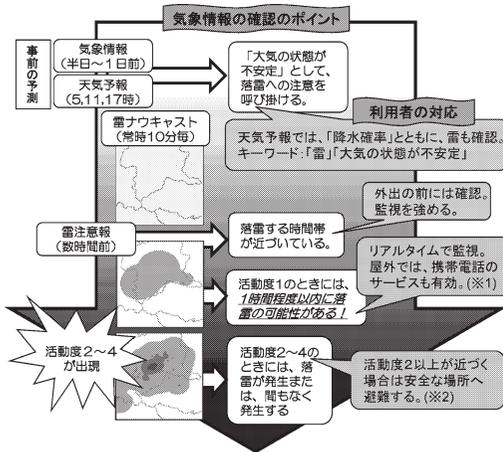
雷に関する気象情報は段階的に発表されるので、段階に応じた利用を推奨している。第11図に、各段階における情報とその利用についてのイメージを示す。



第9図 適中率・捕捉率。雷ナウキャストの30分予測の活動度2以上の月毎の適中率・捕捉率。雷ナウキャストの解析値（活動度2以上）を検証の真値とした。適中率は、30分予測で活動度2以上となる格子に対して、その格子から半径5km以内に真値の格子がある割合。捕捉率は、活動度2以上を解析した格子に対して、その格子から半径5km以内に、30分過去の時刻を初期値とした予測で活動度2以上を予測した格子の存在する割合。



第10図 雷ナウキャストの予測事例。2008年8月19日茨城県の雷ナウキャストの解析・予測事例。左上は15時地上天気図。上段はエコー強度、中段は雷ナウキャストの解析、下段は雷ナウキャストの予報。時刻は初期値、FTの右の数字は予測時間(分)を表す。黒枠は、雷災害の発生した水戸市と石岡市。



第11図 雷に関する気象情報と利用のイメージ。
 (※1) 予報業務許可事業者等によるサービス。(※2) 活動度が表示されていない地域でも、急に雷雲が発達して落雷が発生することがあるので、天気の変化に注意。

①気象情報や天気予報

広範囲で激しい落雷が予想される場合には、半日～1日前に予告的な気象情報を発表し、「大気の状態が不安定」、「落雷に注意」といった内容で注意を呼び掛ける。また、1日3回発表している天気予報では、「雷を伴う」と表現する。

②雷注意報

雷の発生が予測される数時間前には、雷注意報を発表する。この時点で雷ナウキャストによる監視を強めるのが効果的である。

③雷ナウキャスト

雷注意報の発表中に雨雲が発達を始めると雷ナウキャストで「活動度1」を表現する。この範囲内では、おおむね1時間以内に発雷の可能性があるため、安全確保に時間を要する場合は、活動度1の段階から行動することが被害防止につながる。実際に雷が発生したり、落雷の可能性が高い状況になった場合には、「活動度2～4」が現れる。活動度2以上では落雷の危険が迫っている状況であり、屋外にいる場合には「活動度の大小に関わらず」直ちに身の安全確保の行動をとる必要がある。特に、活動度2は雷が発生していてもまだ活発に感じない状況か、落雷が発生する直前という状況なので気を許しがちとなるが、この段階で行動をとることが被害軽減に重要と考えられる。

これらの情報は気象庁のホームページでも提供しており、雷ナウキャストは、レーダー観測や降水ナウキャスト、竜巻発生確度ナウキャストと同じページで、要素を切替えて表示できるため雷雨の監視に有効である。(URL: <http://www.jma.go.jp/jp/radnowc/>)

8. おわりに

本稿で取り上げた雷を含め、激しい突風や急な強い雨など、局地的で激しい現象は事前に詳細な予測をすることが難しい。このような現象に伴う災害から身を守るには、最新の気象情報を利用するとともに、どのような場所が危険かを理解し、状況に応じて適切な行動を取ることが重要である。特に、グラウンドなど広い場所や木のそばなどは、落雷の危険が高く、屋外で雷が鳴ったら速やかに建物の中に避難することが必要である(日本大気電気学会 2001)。

気象庁では、気象情報の提供に加えて、災害から身を守るための知識の普及を目的としたリーフレットを作成すると共に、気象庁ホームページでは「気象等の知識」のコーナーで、雷に関する項目を設けているので雷災害の防止・軽減に役立てていただきたい。(URL: <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/toppuu/thunder0-0.html>)

参考文献

- Gremillion, M. S. and R. E. Orville, 1999: Thunderstorm characteristics of cloud-to-ground lightning at the Kennedy Space Center, Florida: A Study of lightning initiation signatures as indicated by the WSR-88D. *Wea. Forecasting*, 14, 640-649.
- 笠原真吾, 2010: 雷ナウキャスト. 平成21年度予報技術研修テキスト, 116-135.
- Michimoto, K., 1991: A study of radar echoes and their relation to lightning discharge of thunderclouds in the Hokuriku district. Part I: Observation and analysis of thunderclouds in summer and winter. *J. Meteor. Soc. Japan*, 69, 327-335.
- 日本大気電気学会, 2001: 雷から身を守るには—安全対策Q&A—改訂版. 日本大気電気学会, 54pp.
- Steiner, M., R. A. Houze Jr. and S. E. Yuter, 1995: Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data. *J. Appl. Meteor.*, 34, 1978-2007.
- 高橋 劭, 1986: 雷の電気. 気象研究ノート, (172), 365-379.