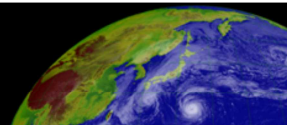


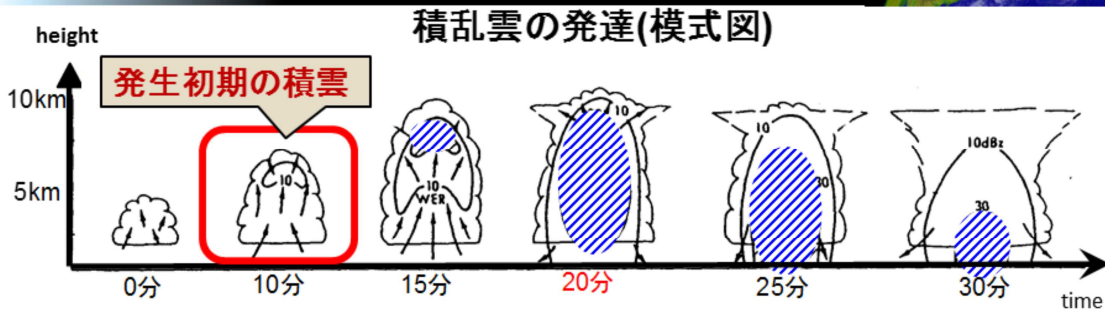
積乱雲情報プロダクト

元資料 : 平成29年(2017年)研修テキスト第3章
作成日 : 令和2年(2020年)3月24日

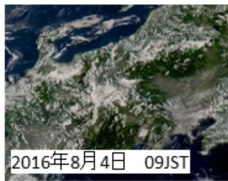


- 積乱雲情報プロダクトについて
 - プロダクトの概要(目的、要素、歴史)
 - アルゴリズム
 - 精度検証
 - 事例紹介①②

積乱雲情報プロダクトの開発目的



Chisholm, A. J. and Renick, J. H. (1972) [traced and added]



※ 画像は積乱雲の衛星センターHPより
https://www.data.jma.go.jp/mscweb/ja/prod/image_02.html

- 発生初期の積雲は雲粒のみからなり、気象レーダーで捉えることが困難
- 高頻度の衛星雲観測により、積雲が急発達する兆候を早期に検出し、より長いリードタイムを確保

ひまわり8号は10分間隔のフルディスク観測（衛星から見える地球全ての観測）と同時に日本域周辺を高頻度（2.5分間隔）に観測する日本域観測を行っている。発生初期の積雲は雲粒のみからなり、気象レーダーで捉えることが困難。高頻度の衛星雲観測により、積雲が急発達する兆候を早期に検出し、より長いリードタイムを確保することを目的としてプロダクト開発を行っている。

参考文献

Chisholm A. J. and J. H. Renick, 1972: The kinematics of multicell and supercell Alberta hailstorms, Alberta Hail Studies, 1972, Research Council of Alberta Hail Studies Rep. 72-2, 24-31.

積乱雲情報プロダクトの要素

●積雲急発達域

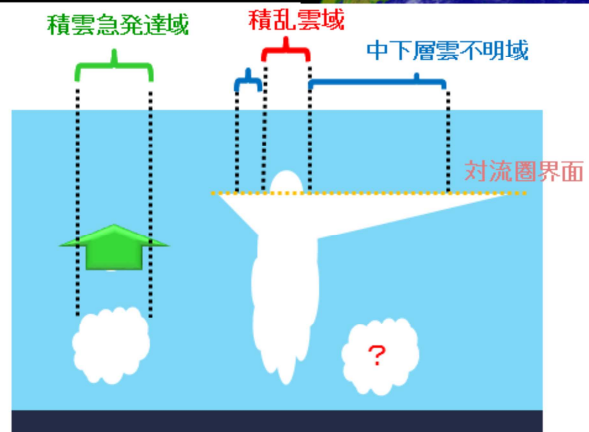
発達傾向があり、発雷などの激しい現象をもたらす可能性がある雲域

●積乱雲域

積乱雲が十分に発達し、雲頂がオーバーシュート(対流圏界面を突破)している雲域

●中下層雲不明域

積乱雲の雲頂付近から広がるかなとこ巻雲等の分厚い上層雲域(分厚い上層雲があると、衛星からはその下の状況が不明になる)



積乱雲情報プロダクトは、赤外画像 (B13) を背景として、以下の3つの要素を重畳して表示している。

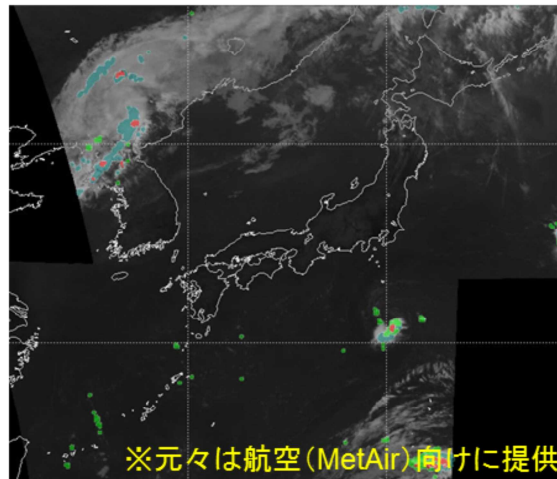
積雲急発達域 (緑色) : 発達傾向があり、発雷などの激しい現象をもたらす可能性がある雲域

積乱雲域 (赤色) : 積乱雲が十分に発達し雲頂がオーバーシュート (対流圏界面を突破) している雲域

中下層雲不明域 (青色) : 積乱雲の雲頂付近から広がるかなとこ巻雲等の分厚い上層雲域

(分厚い上層雲があると、衛星からはその下の状況が不明なため、このような名称を用いている)

積乱雲情報プロダクト

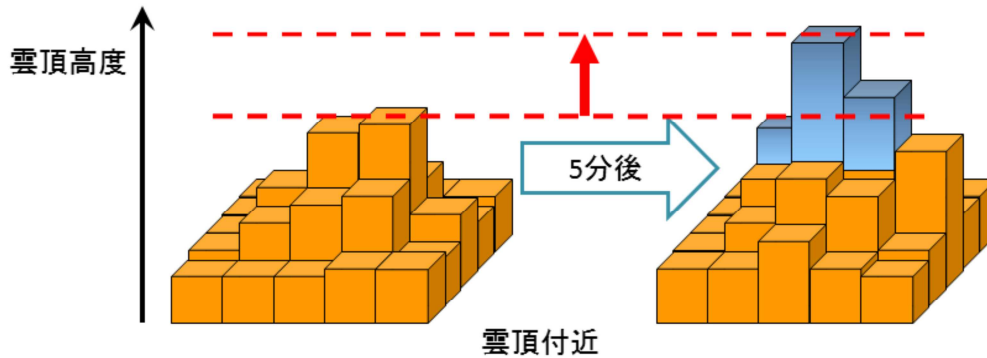


※元々は航空 (MetAir) 向けに提供

提供期間			衛星	使用バンド数	観測モード	時間間隔
年	季節	時間帯				
2012 - 2014	夏季	日中	ひまわり6号	3	ラピッドスキャン	5分
2015			ひまわり8号		日本域観測	
2016 -	通年	終日	ひまわり8号	7	日本域観測	

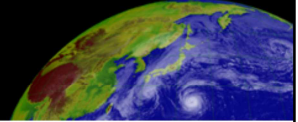
気象衛星センターでは、2012年6月から2014年9月まで、ひまわり6号の5分毎の高頻度観測データを利用して、航空関係機関向けに積乱雲情報プロダクトを提供してきた。しかし、待機衛星としての観測の制約のため、夏季（6月～9月）の日中（09時～18時）のみの提供であった。2015年7月からは、ひまわり8号の日本域観測データを利用したプロダクトを、それまでと同様に夏季・日中に提供していたが、プロダクトの提供が行われていなかった朝や夜のはじめ頃にも積乱雲が激しく発達することが多いため、2016年6月からは、ひまわり8号の多バンドの観測データを利用することにより、通年終日の提供を行っている。

積雲急発達域検出の概念図



急激に発達する積雲では...

- **雲頂高度が上昇**
輝度温度の低下・雲層厚の増加が期待される
- **雲頂表面の凹凸具合が増加**
コントラストの増加が期待される e.g. 対象格子中の標準偏差の増加
- **雲頂付近の雲微物理の変化**
氷粒子への相変化を検出



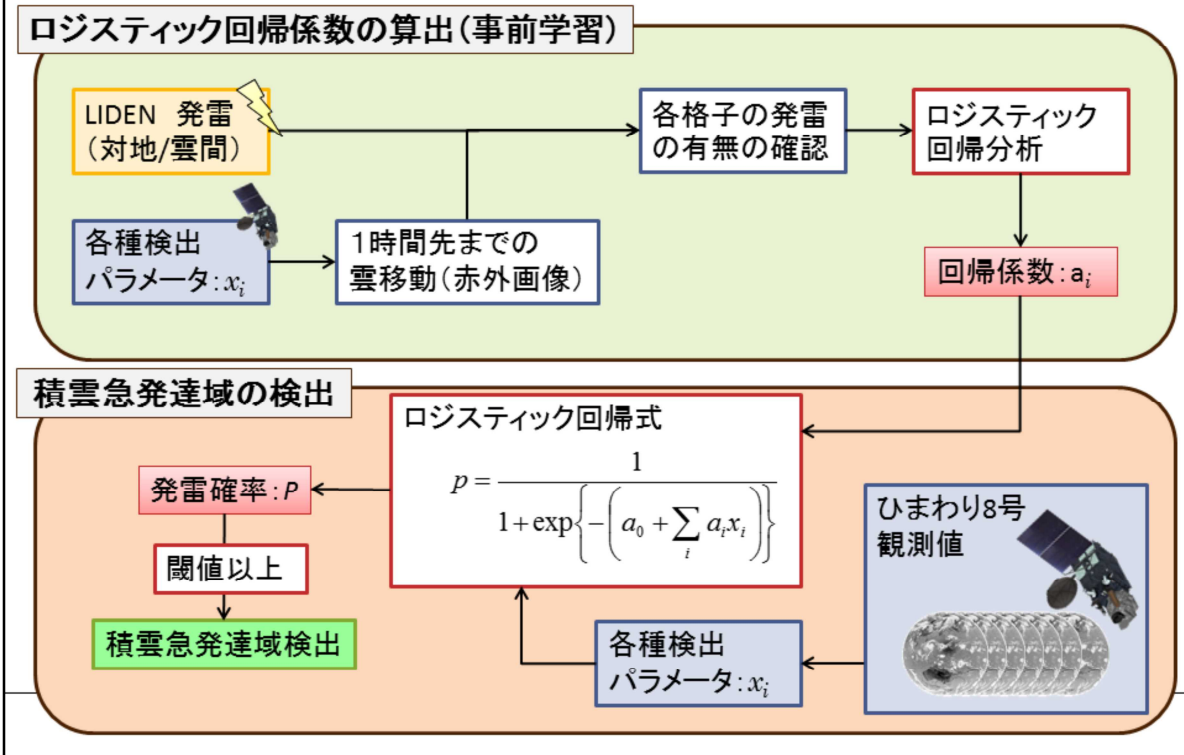
検出パラメータ一覧

検出パラメータ	主な目的	備考	
B03 (最大値 - 平均値)	雲頂表面の 凹凸具合を検出	夏季・日中のみ	ワンシーン パラメータ
B03 (標準偏差)			
B13 (最小値 - 平均値)			
B13 (標準偏差)			
B16 - B13 (平均値)	雲頂付近の 氷雲の検出	夏季のみ	
B15 - B13 (平均値)			
B11 - B13 (平均値)			
B08 - B13 (平均値)	雲頂上空の 水蒸気の検出		
B10 - B08 (平均値)			
B03 (平均値の時間変化)	雲の発達 具合を検出	日中のみ	
B13 (平均値の時間変化)			
B11 - B13 (平均値の時間変化)	雲頂付近の 氷雲の検出	夏季のみ	
B15 - B13 (平均値の時間変化)			

11月第1月曜日に夏季用から冬季用に、3月第4月曜日に冬季用から夏季用に
パラメータ等を切り替えている(切り替え日が休日の場合は、翌平日に実施)。
切り替えの前後で検出特性が変わるので注意が必要

ひまわり8号の7バンドから、これら13の検出パラメータを算出している。
例えば、バンド3の最大値-平均値によって、雲頂表面の凹凸具合を見積もったり、
バンド11とバンド13の差分で雲頂付近の氷雲を検出している。

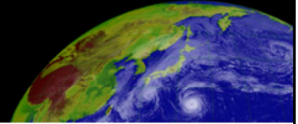
積雲急発達域検出までの流れ



積雲急発達域検出までの流れ

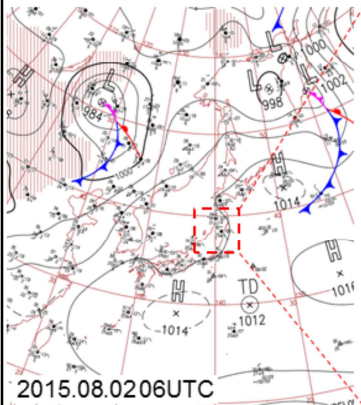
まず最初に、雷データと衛星データ（検出パラメータ）を利用して、ロジスティック回帰係数を算出する
 このとき、衛星の赤外画像から1時間先までの雲の移動も考慮して、各格子の発雷の有無の情報を基に、ロジスティック回帰分析を行う。
 そこで、得られた回帰係数と各時刻の衛星データ（検出パラメータ）をロジスティック回帰式に代入し、発雷確率 p を求める。
 この p の値が大きい領域（格子）を積雲急発達域として検出している。

ターゲット(夏季)

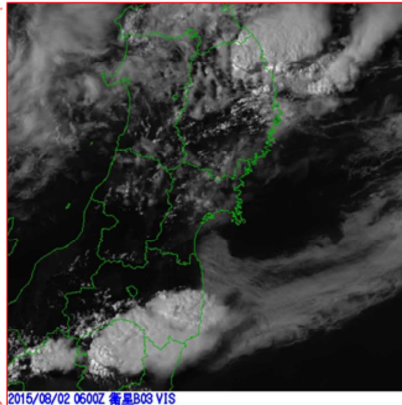


夏季(4月~10月): 孤立した積乱雲による熱雷

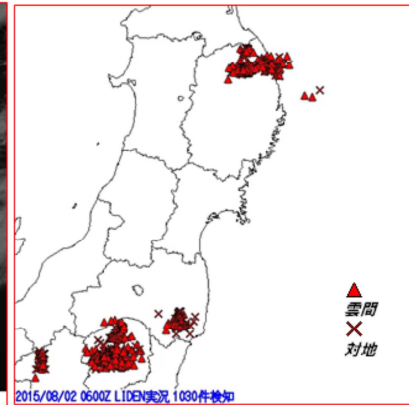
地上天気図(ASAS)



可視画像(B03)



発雷(LIDEN)



・高気圧に覆われて晴れていたが、気温の上昇とともに各地で対流雲が急激に発達し、雷も多数発生している

雷と一言で言っても様々な要因によって発生するため、発雷種別を分けて考える必要がある。

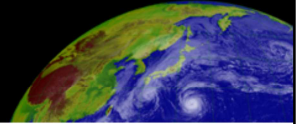
前線や低気圧、台風付近での発雷は、衛星画像等からも危険な領域であることは比較的容易に分かる。

一方、大気的不安定化に伴う夏季の熱雷は発生予測が難しいが、高頻度の衛星観測を活かして、より早期に検出できるようにロジスティック回帰係数を求めている。

図は、夏季の熱雷の例で、左から、8月2日15時(06UTC)の地上天気図、可視画像、発雷(LIDEN実況)を示す。

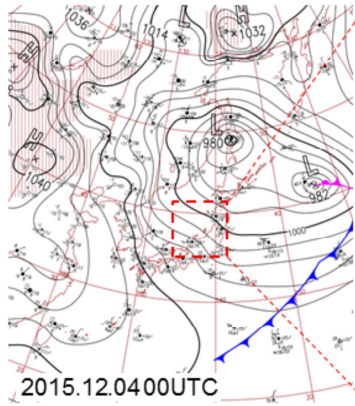
栃木県、福島県、岩手県でそれぞれ積乱雲のクラスターが発生し、活発な雲間・対地放電を伴う様子が分かる。

ターゲット(冬季)

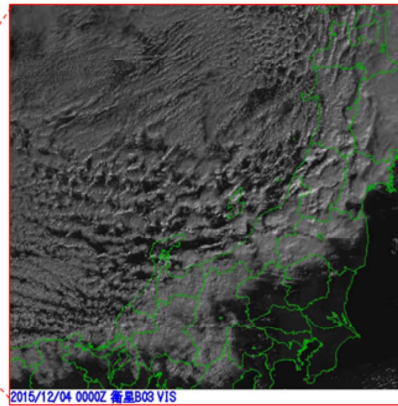


冬季(11月～翌3月):寒気の吹き出し時の日本海沿岸での発雷

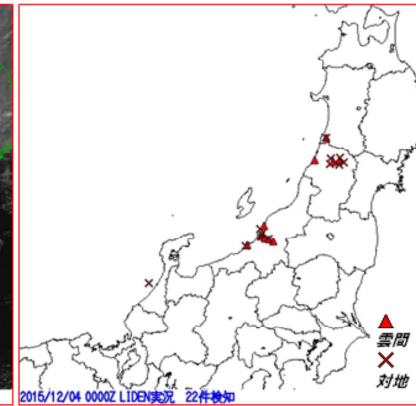
地上天気図(ASAS)



可視画像(B03)



発雷(LIDEN)



・冬型の気圧配置となり、日本海には筋状雲が広がっている
日本海沿岸付近や太平洋上では雷が発生している

冬季には熱雷は（ほとんど）発生しないため、代わりに寒気の吹き出し時の日本海沿岸での発雷をターゲットとして、ロジスティック回帰係数を求めている。

図は、冬季の日本海沿岸の発雷の例で、左から、12月4日09時（00UTC）の地上天気図、可視画像、発雷（LIDEN実況）を示す。

新潟県、山形県の日本海沿岸では、寒気の吹き出しに伴う比較的背の高い対流雲が吹き付け、それに伴って雲間放電・対地放電が発生する様子が分かる。

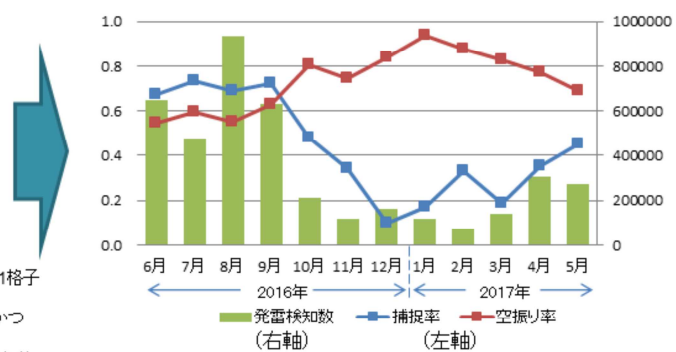
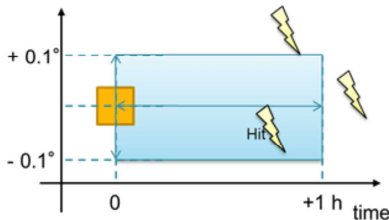
精度検証(2016年6月～2017年5月)

		発雷		合計
		あり	なし	
積雲急発達域	あり	a, aa: 適中	b: 空振り	a+b: 積雲急発達域 検出数
	なし	c: 見逃し	d	
合計		aa+c: 発雷検知数		

a: 積雲急発達域として検出された格子(解像度:0.1°)の周辺±1格子以内かつその検出後1時間以内に、検知された発雷数
 aa: 発雷が検知された格子(解像度:0.1°)の周辺±1格子以内かつその検知前1時間以内に検出された積雲急発達域の数
 b: 積雲急発達域を検出したが、その後1時間以内に発雷がなかった数
 c: 発雷が検知されたが、その1時間前までに、積雲急発達域が検出されていなかった数

$$\text{捕捉率} = aa / (aa+c)$$

$$\text{空振り率} = b / (a+b)$$



・夏季(4月～10月)

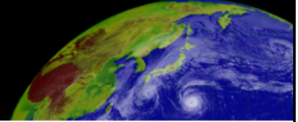
熱雷が多く発生し比較的精度良く検出できている
 →高気圧に覆われて中・上層雲が少なく、対流雲が発達する様子を観測しやすい

・冬季(11月～翌3月)

捕捉率が低く、空振り率が高い
 →夏季ほどの雲の発達傾向が見られず、雲域の水平移動量も大きい
 →正確な発雷位置の解析や予測が困難

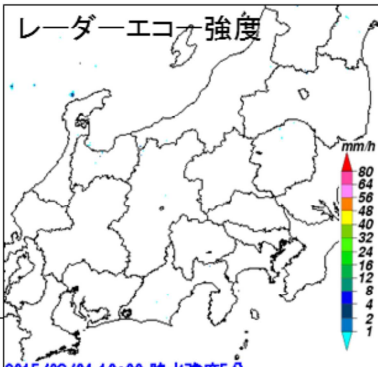
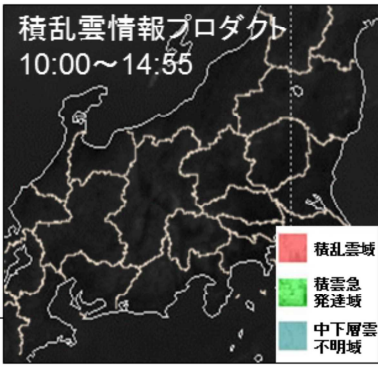
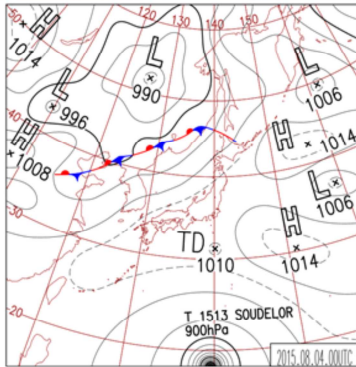
右上図は、2016年6月から2017年5月までの1年間の月別の捕捉率、空振り率及び発雷数を示している。積雲急発達域は、夏季においては熱雷をターゲットとしているため、熱雷が多く発生した8月は比較的精度良く検出されていることがわかる。これは、熱雷が発生する環境場では太平洋高気圧に覆われ、中・上層雲に邪魔されずに対流雲が発達する様子を衛星から観測することができるためと考えられる。一方、熱雷の発生が減少する10月には、捕捉率の低下や空振り率の上昇が見られる。また、発雷が少ない冬季についても精度が低下する傾向にあることがわかる。冬季においては寒気吹き出し時の日本海沿岸での発雷をターゲットにしているが、発雷を伴う雲域でも夏季ほどの発達傾向は見られず、雲域の水平移動量も大きいことから、正確な発雷位置を解析・予測するのが困難なためである。

事例紹介①



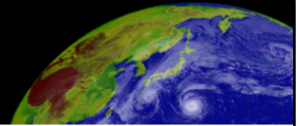
□ 早期検出事例(2015年8月4日)

- ・太平洋高気圧の張り出しにより、九州から本州にかけて晴れて気温が上昇し、大気の状態が不安定となっていた
- ・同日昼過ぎから、各地で雷雨が観測された

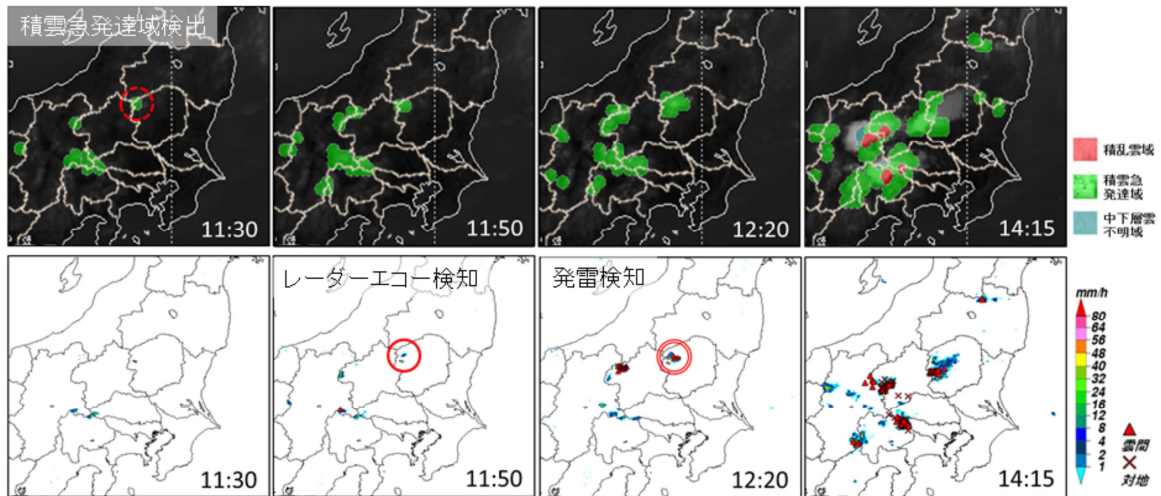


2015年8月4日に関東内陸部で発生した熱雷時の地上天気図を左上に示す。伊豆諸島には中心気圧1010hPaの熱帯低気圧、フィリピンの東には中心気圧900hPaの台風第13号 (Soudelor) があり、太平洋高気圧の張り出しにより九州から本州にかけて晴れて気温が上昇し、大気の状態が不安定になっていた。そして、同日昼過ぎから、各地で雷雨が観測された。関東地方の山岳部の状況について、第3.4.4図に示す積乱雲情報プロダクト、レーダーエコー強度及び発雷分布を見てみよう。

事例紹介①



積乱雲情報プロダクト(上段)、レーダーエコー強度+LIDEN(下段)

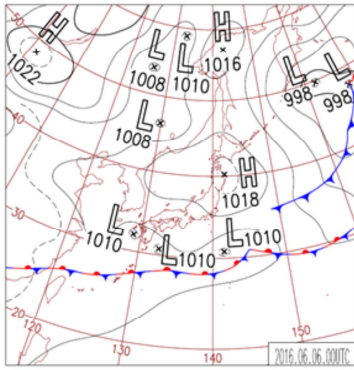
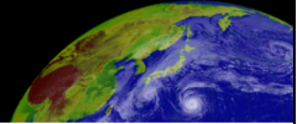


・発雷する雲域をレーダーエコーよりも早期に積雲急発達域として検出された

群馬県と栃木県の県境付近において、積乱雲情報プロダクトで積雲急発達域が最初に検出されたのは、11時30分である。その20分後の11時50分にはレーダーエコー、さらにその30分後の12時20分にはLIDENにより発雷が検知された。14時15分になると、各地で積雲急発達域や積乱雲域が検出されており、激しい雷雨となっている領域と良く対応していることがわかる。

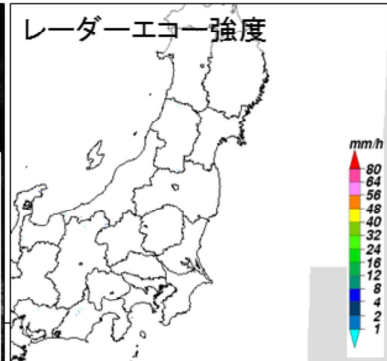
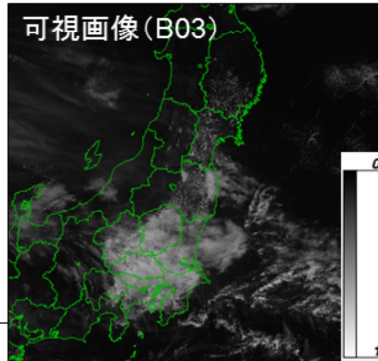
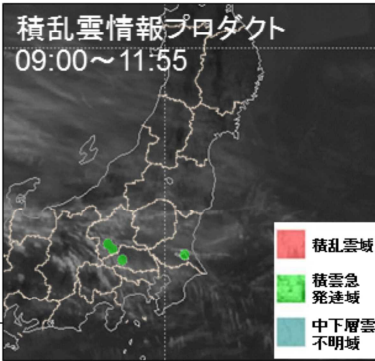
このように、積乱雲情報プロダクトは、特に夏季日中に熱雷が発生している領域を気象レーダーよりも早期に検出することが可能である。

事例紹介②



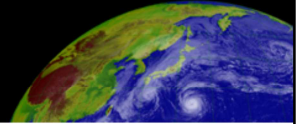
□ 誤検出事例(2016年6月6日)

- ・九州地方には低気圧があり、低気圧に伴う上層雲(バルジ)が本州に広がっている
- ・関東地方には下層雲があり、その上空を上層雲が通過している
- ・関東地方には目立ったレーダーエコーはない

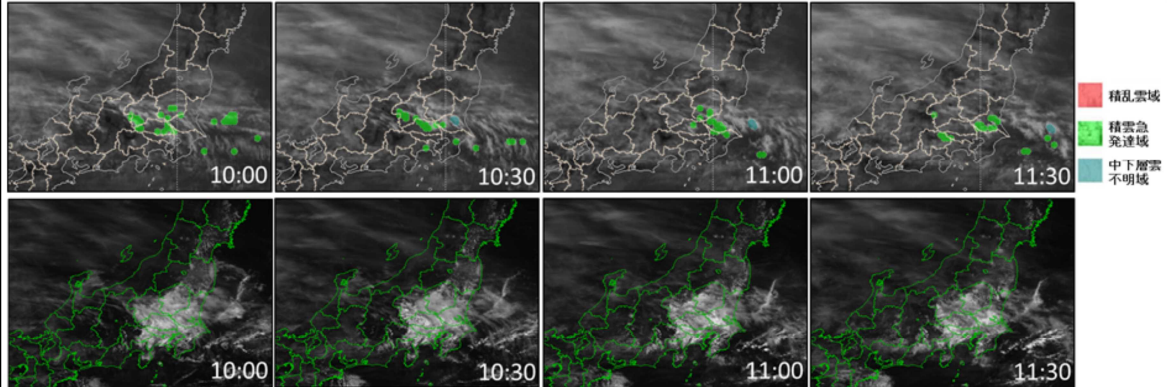


下層雲の上空を薄い上層雲が通過していく領域においては、雲頂の急上昇と誤判定し、積雲急発達域として検出されてしまうことがあるため、このような場合には取り扱いに注意が必要である。

事例紹介②



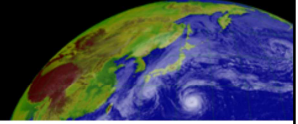
積乱雲情報プロダクト(上段)、衛星可視画像(B03、下段)



・下層雲の上空を上層雲が通過した際に、下層雲が急激に発達したと誤判別してしまい、積雲急発達域として誤検出されているため、扱いに注意が必要

下層雲の上空を薄い上層雲が通過していく領域においては、雲頂の急上昇と誤判定し、積雲急発達域として検出されてしまうことがあるため、このような場合には取り扱いに注意が必要である。

まとめと今後の課題



- ひまわり8号の日本域観測データを利用して、急激に発達する対流雲を早期検出するプロダクト(積乱雲情報プロダクト)を作成・提供している
- 夏季は熱雷、冬季は日本海沿岸での発雷をターゲットとしている
- 熱雷時には精度良く検出できるが、上層雲の通過時や冬季のアルゴリズムの見直しが必要である