



令和7年度気象研究所研究成果発表会
2月21日（土）13:30～ 気象庁講堂



歩み続けて150年
防ぐ災害・守る未来

雲の物理から紐解く大雨の特徴

鵜沼 昂（うぬま たかし）

台風・災害気象研究部 第三研究室

はじめに：降水の観測（地上）

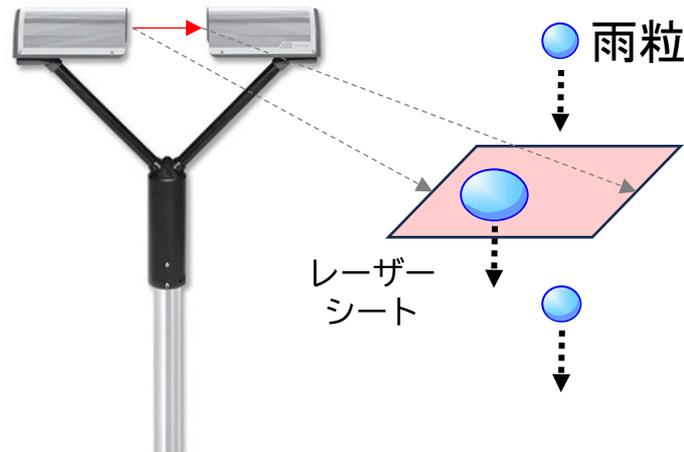
降水量・降水強度の観測



出典 <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownow/faq/faq11.html>

雨粒を一定期間溜めることで、降水量あるいは降水強度を測る。

雨粒毎の頻度分布の観測



レーザーシートを通る雨粒の大きさとその頻度を分布として測る。

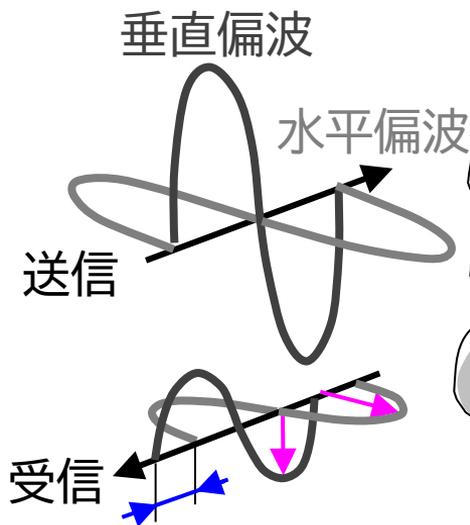
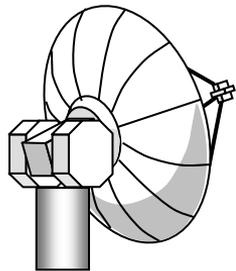
はじめに：降水の観測（上空）

振幅 → 粒子の数×大きさの6乗

振幅の比 → 粒子の形

位相の差 → 雨の強さ

位相の相関 → 一様性



降水粒子の種類



雨

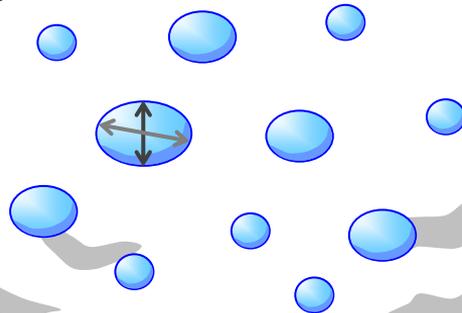


雪



雹

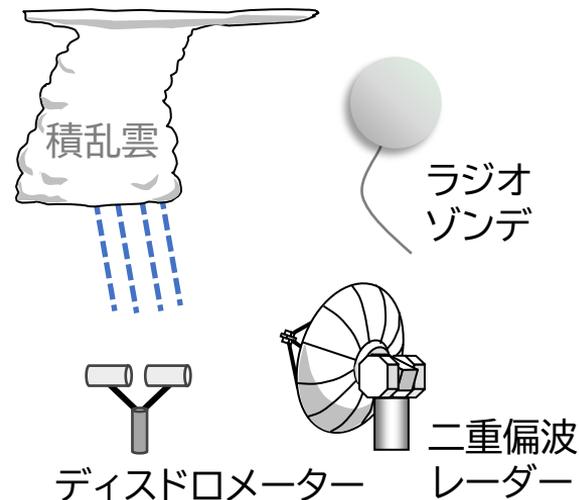
雨滴の形・大きさ



はじめに：対流雲と大気環境条件

対流雲(積乱雲など)の強度と大気環境条件との関係

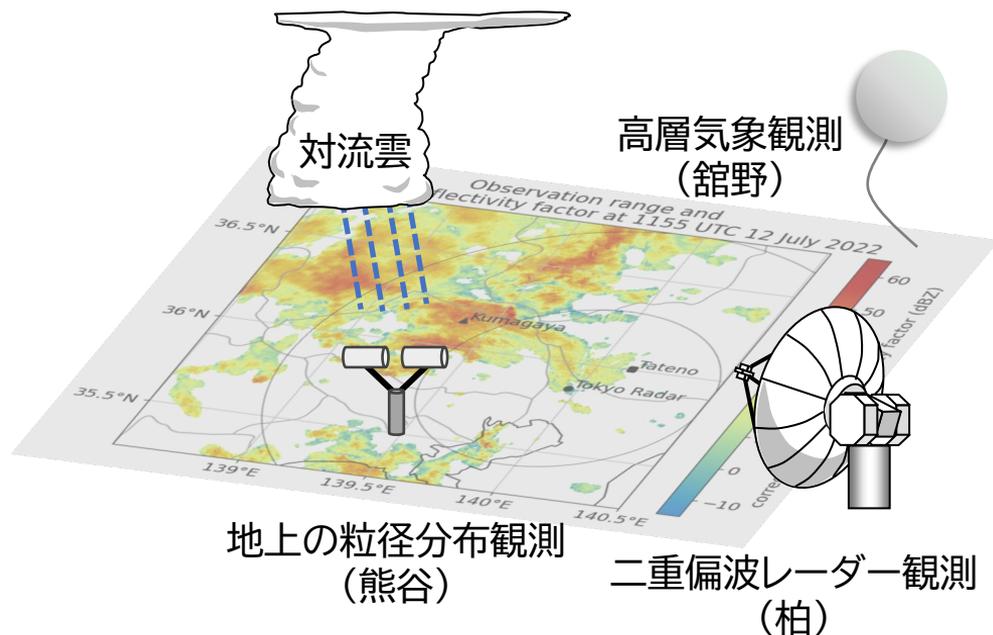
- 降水強度・鉛直流と大気環境条件の関係
e.g., Weisman and Klemm (1982)
-> 与えられる環境条件に対して線形/非線形に振舞う
- 対流雲内の雲微物理プロセスと周辺大気環境条件とでは時空間スケールが大きく異なる
- 対流雲内の雨滴粒径分布と大気環境条件の関係
Feng et al. (2022); Saha et al. (2022)
-> 不安定指数と地上の雨滴粒径分布とに相関関係があることを指摘



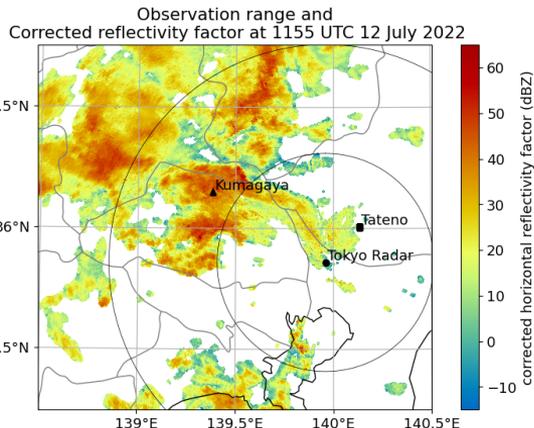
日本で大雨をもたらす「対流雲内の雲微物理構造」と「大気環境条件」を調べることで、大雨発生メカニズムを観測的に把握することは可能だろうか？

解析対象とする対流雲

- 地上で観測された粒径分布に衝突分裂の特徴を有する場合の日時を選定。
- 上記日時の地上観測を通過する対流雲を対象に解析。→ 計 354 事例

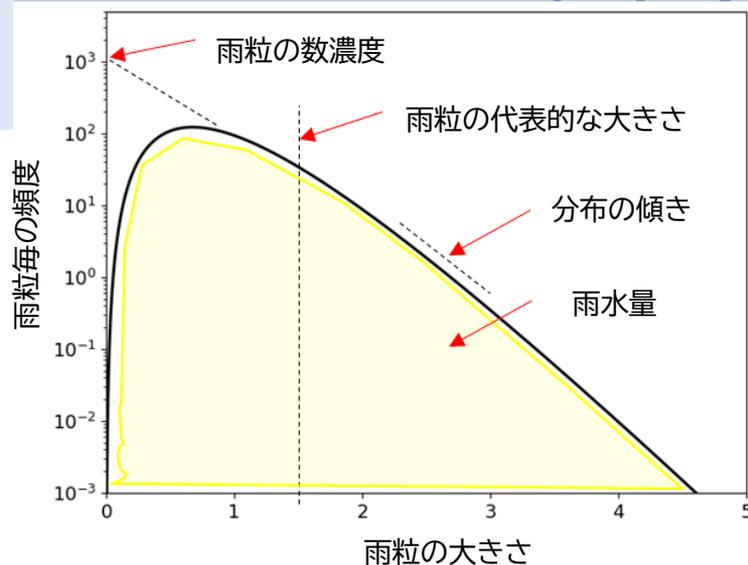


データ・解析手法



データ

- 二重偏波レーダー
 - 気象庁一般レーダー (東京)
(観測整備計画課 2023)
- ディスドロメーター
 - 第一世代 OTT-Parsivel
(Löffler-Mang and Joss 2000)
- 解析期間
 - 2021年1月1日 00:00 JST ~
2023年12月31日 23:59 JST



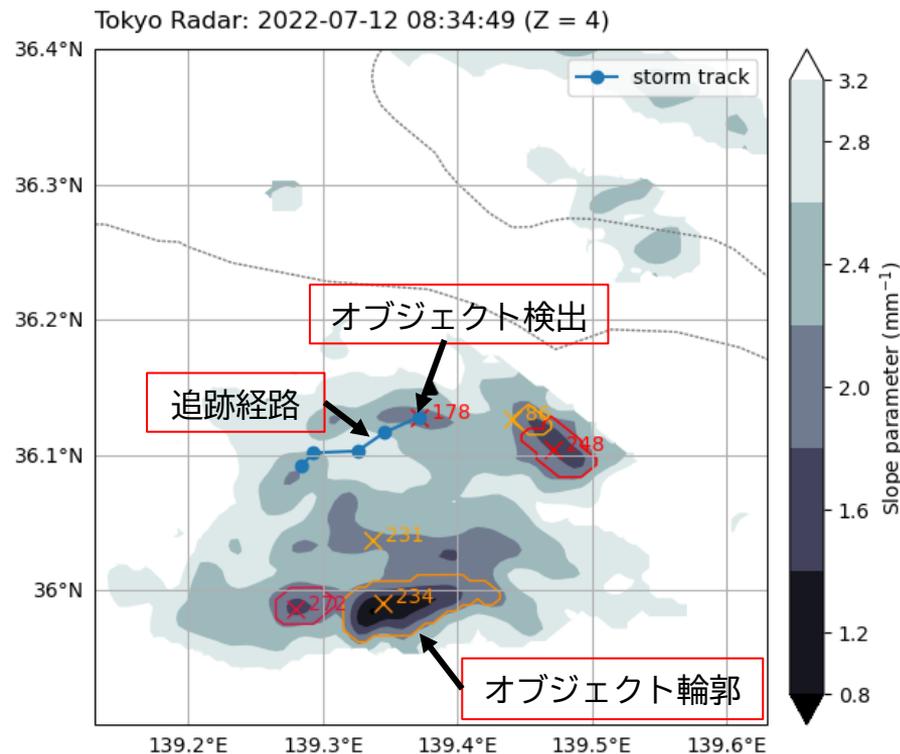
解析手法

- 粒径分布パラメーター
 - 二重偏波レーダー：
降雨減衰補正 (Gu et al. 2011)
 β method (Gorgucci et al. 2000; Gorgucci and Baldini 2009; Unuma et al. 2023 SOLA)
 - ディスドロメーター：
指数分布または規格化ガンマ分布を仮定した
粒径分布パラメーターを算出 (Hardin and Guy
2017; Unuma et al. 2025 JMSJ)

解析手法：対流雲の検出・追跡

tobac ver. 1.5.3 (Sokolowsky et al. 2024)

- 三次元データの入力値からオブジェクトを水平・鉛直方向に追跡可能。
- **オブジェクトの検出**
 - 与えられた変数に対し、1つ以上の閾値を用いたオブジェクトを定義。
 - 本研究では粒径分布パラメーター Λ を使用
- **オブジェクトの輪郭抽出**
 - 検出したオブジェクトの範囲を閾値で決定
 - 本研究では $\Lambda < 3.0 \text{ mm}^{-1}$ の範囲として定義
- **オブジェクトの追跡**
 - Crocker and Grier (1996) の Python 実装版
 - Feature を時間方向に連結し Cell を定義。
 - 本研究では 3 時刻以上追跡した Cell を解析
→ 以後、対流雲と呼ぶ。



解析手法：大気環境条件

- データ

- 館野の高層気象観測

- 対流雲の初期検出時刻よりも前の時刻の高層観測データを使用。

- 大気環境条件を表すパラメーター

- 下層の水蒸気量 (PW12)

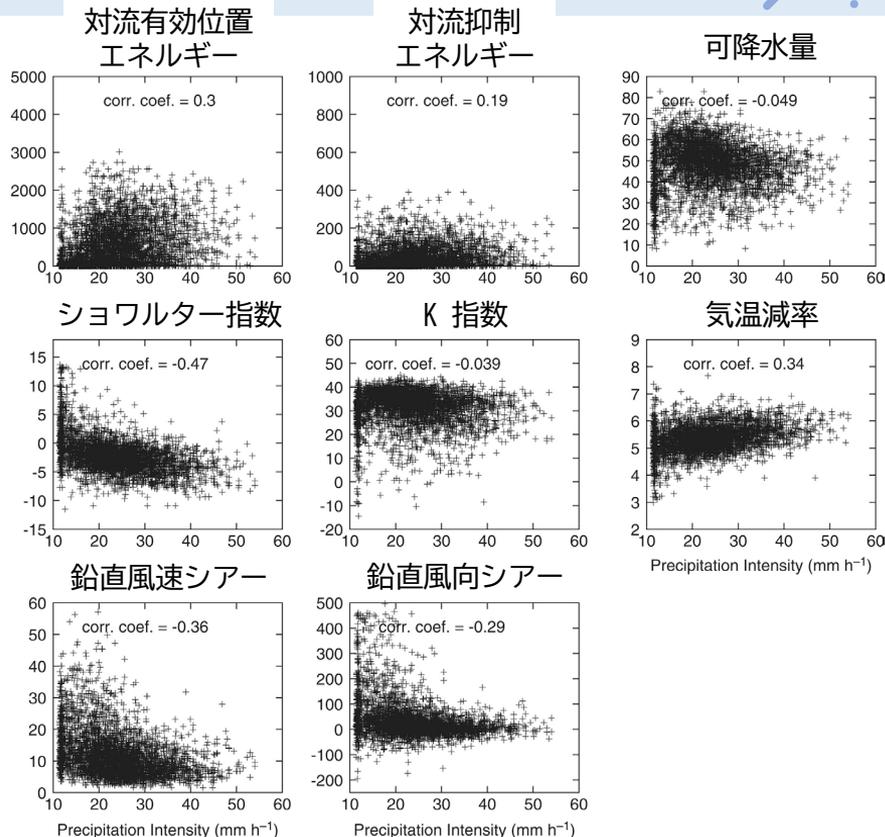
- 高度 1-2 km の水蒸気量の積算値

- 気温減率 (TLR)

- 850 hPa と 500 hPa の間の気温減率

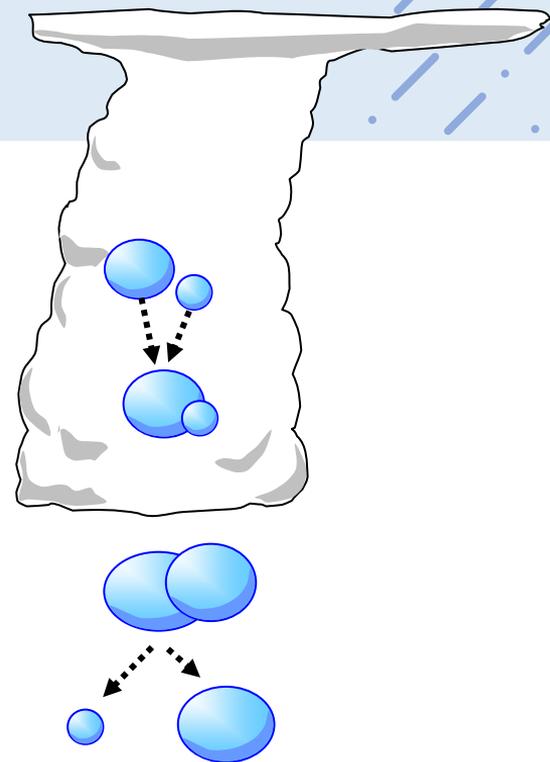
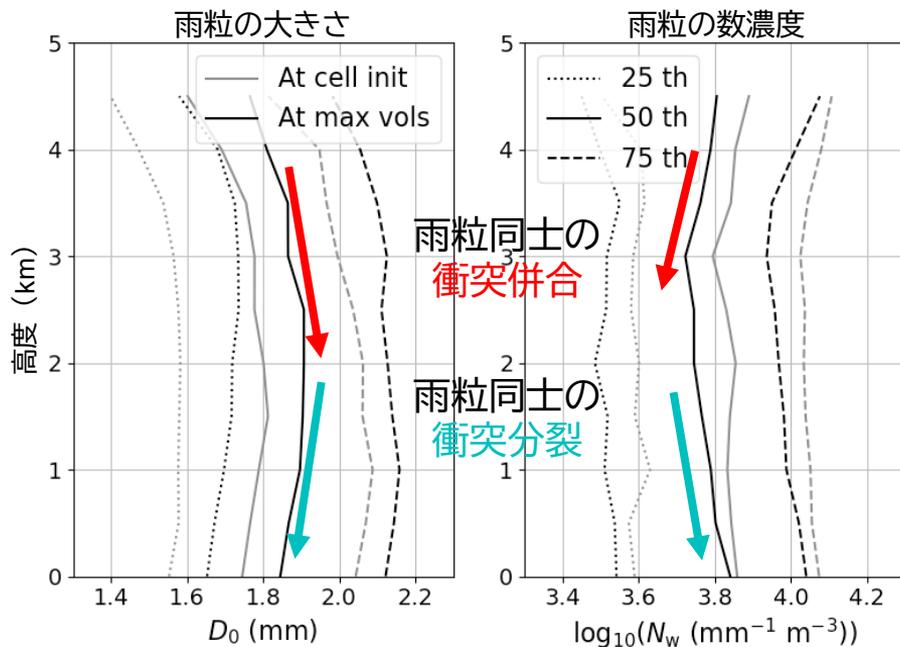
- 下層の鉛直風速シアー (MS03)

- 高度 0-3 km の鉛直風速差の相当量



(Unuma and Takemi 2016)

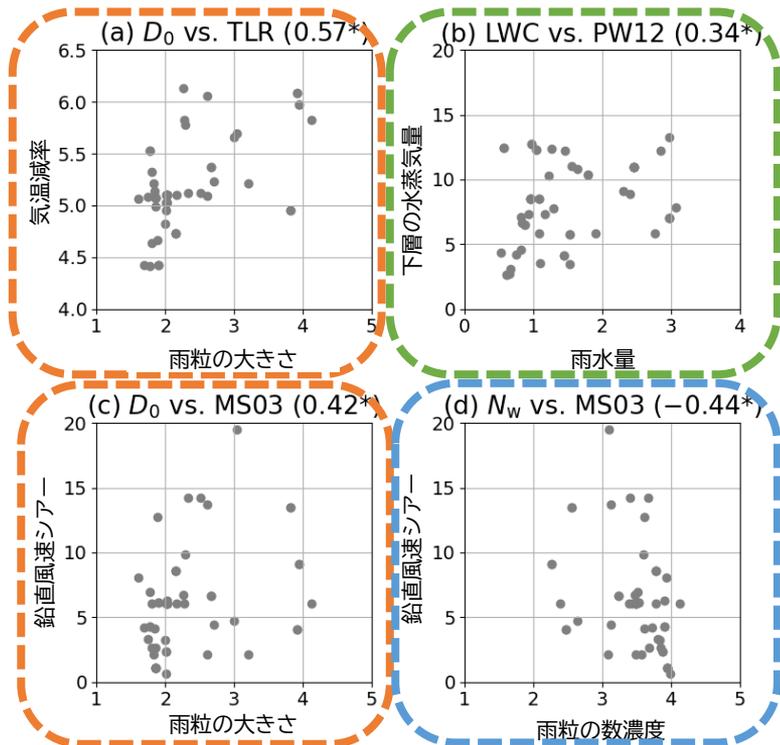
結果：対流雲内の鉛直構造



対流雲の中心位置における各粒径分布パラメーターの鉛直分布。

地上に向かって、高度 2-4 km で代表的な雨粒の大きさが**増加**、雨粒の数濃度は**減少**。
高度 0-2 km で代表的な雨粒の大きさが**減少**、雨粒の数濃度は**増加**。

結果：雨滴粒径分布 vs. 大気環境条件



地上付近の粒径分布パラメーター (D_0 : 雨粒の代表的な大きさ、 N_w : 雨粒の数濃度、LWC: 対流雲がもたらしうる雨の量) と環境パラメーター (TLR: 気温減率、PW12: 下層の水蒸気量、MS03: 水平風の鉛直風速シア) との散布図。右上の数値は相関係数を示し、アスタリスク付の場合は統計的に有意であることを示す。

雨粒の大きさと気温減率には正の相関、雨粒の大きさと水平風の鉛直風速シアには正の相関がある。

-> 雨粒の大きさには気温減率の高さと鉛直シアの強さが関係

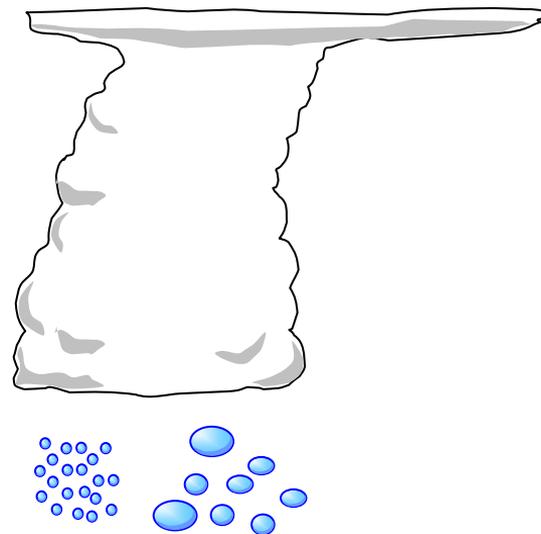
対流雲がもたらしうる雨の量と下層の水蒸気量には正の相関、雨粒の数濃度と水平風の鉛直風速シアには負の相関がある。

-> 雨水量の多さ (数濃度の高さ) に対流圏下層の水蒸気量の多さと鉛直風速シアの弱さが関係

どのように解釈すれば良いのか？

考察：降雨の強化と発生環境場の関係

- 可降水量の多寡と対流雲の発生・発達との関係
 - 水蒸気量の鉛直分布に依存し、対流雲の発生或いは鉛直方向への発達に重要。
(e.g., Brown and Zhang 1997; Johnson et al. 1999; Kikuchi and Takayabu 2004; Unuma and Takemi 2016)
- 本研究で得られた結果とその解釈
 - 鉛直シアーが強く気温減率が高い場合に粒径が大きくなる傾向：
 - 粒径分布の大粒径側を拡げることで瞬間的な強い雨へ寄与
 - 鉛直シアーが弱く可降水量が多い場合に数濃度 (雨水量) が増加する傾向：
 - 粒径分布の小粒径側の数濃度を高めることで雨の積算量へ寄与



まとめ

- 関東地方で大雨をもたらした対流雲内の雲の物理と大気環境条件を3つの観測データにより調べた。
 - 対流雲内の雲の物理：
対流雲の内外で異なる雲の物理が生じていることを発見
 - 大気環境条件の雨滴粒径分布に対する影響：
気温減率の高さと鉛直シアの強さは **瞬間的な強い雨** に寄与
可降水量の多さと鉛直シアの弱さは **雨の量 (積算値)** に寄与
- 本研究で得られた成果の今後
 - 雨の強さを高精度に推定することが出来る
 - 大雨をもたらしやすい雲の直前予測技術の一つとして貢献しうる