

2013年に北東北で発生した
線状降水帯の数値シミュレーション

東北大学

* 伊藤 純至・小野 佳祐

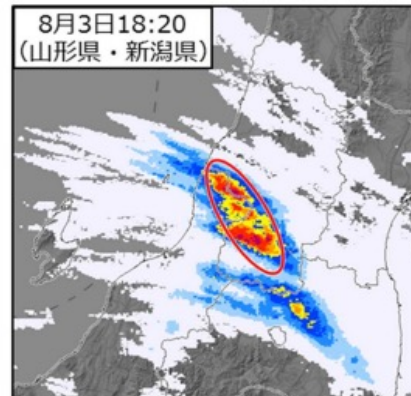
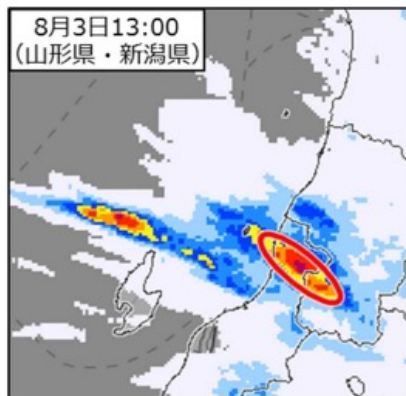
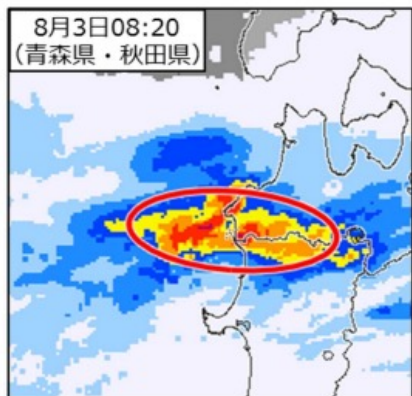
- ・ 背景・目的・事例について
- ・ 線状降水帯発生時の環境場
- ・ 実験設定
- ・ 降水の再現性
- ・ 線状降水帯の形態、構造
 - 前方流跡線解析
 - 対流セルのコンポジット解析
- ・ 感度実験
 - 地形除去実験
- ・ まとめ

線状降水帯に関する事例解析や統計的研究は盛んにおこなわれているが、
東北地方で発生する事例に関して構造を調査した研究はない

...そもそも線状降水帯による集中豪雨が(西日本と比較して)少ない

- ・ 線状降水帯が発生すればより**甚大な被害につながる可能性**がある
- ・ 今後、東北地方で**顕著な線状降水帯は十分発生しうる**

2022年青森県や山形県、新潟県で8月3日, 4日に線状降水帯が発生



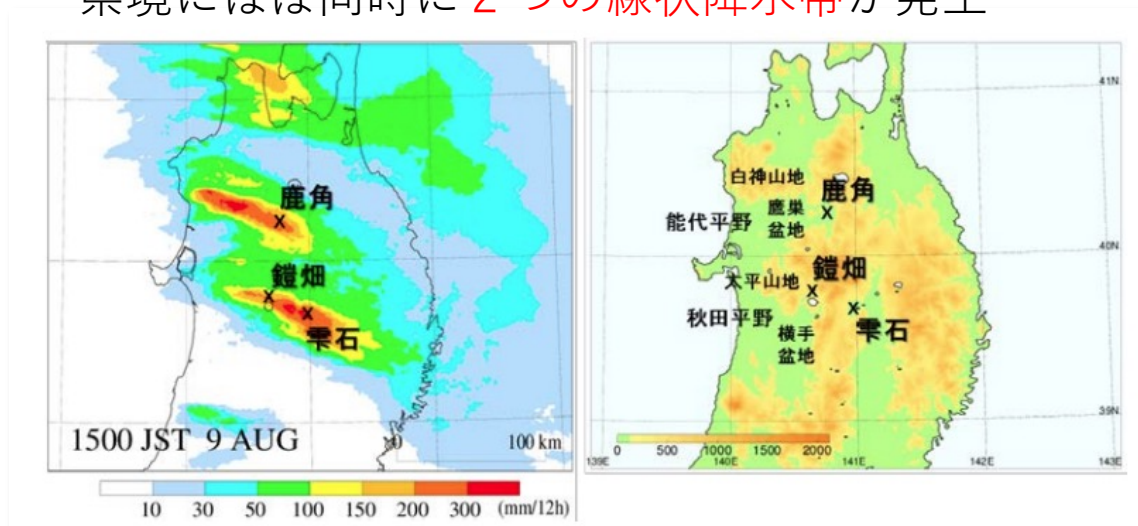
本年(2022年)8月に”顕著な大雨に関する気象情報”を発表した時の前3時間降水量(気象庁 2022)

目的

東北地方で発生した集中豪雨をもたらす線状降水帯を数値シミュレーションで再現し、その発生メカニズムや構造、発生環境場を調査

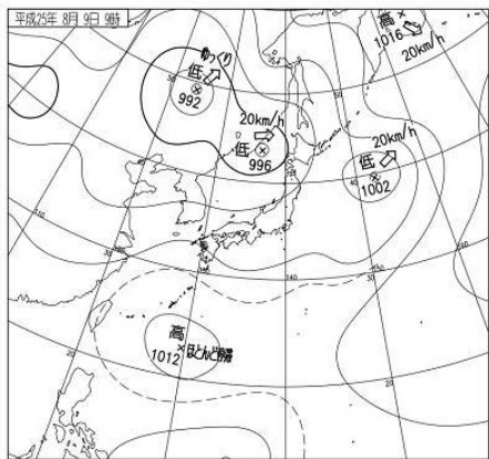
対象事例：平成25年(2013年)秋田・岩手豪雨

2013年8月9日の朝(06JST)から昼過ぎ(12JST)にかけて、秋田県北部及び秋田県と岩手県の県境にほぼ同時に **2つの線状降水帯**が発生



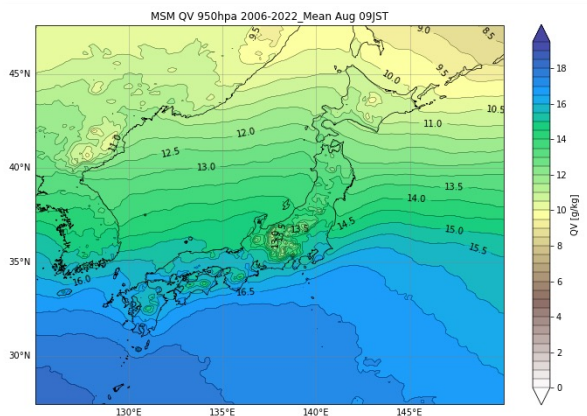
8/9 0300-1500 JSTの積算降水量と地形 (気象研 2013)

線状降水帯発生時の環境場



沖縄から九州南部に張り出す太平洋高気圧
=> **暖湿な空気**が北日本に流入しやすい状況

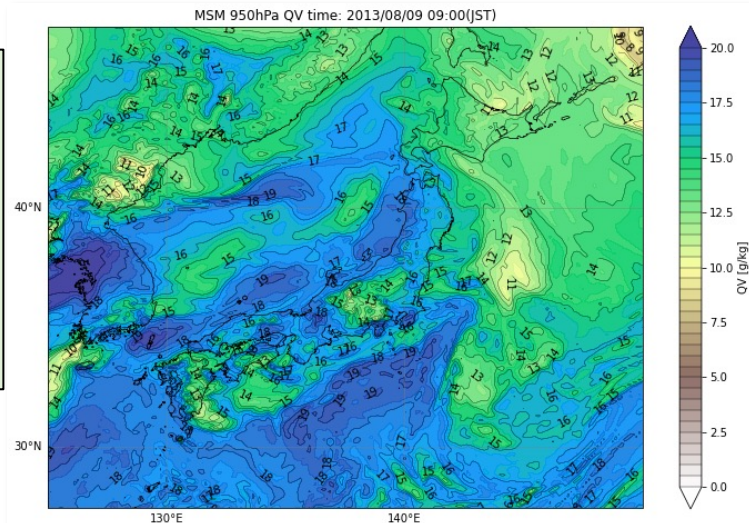
8/9 09JSTの地上天気図 (気象庁)



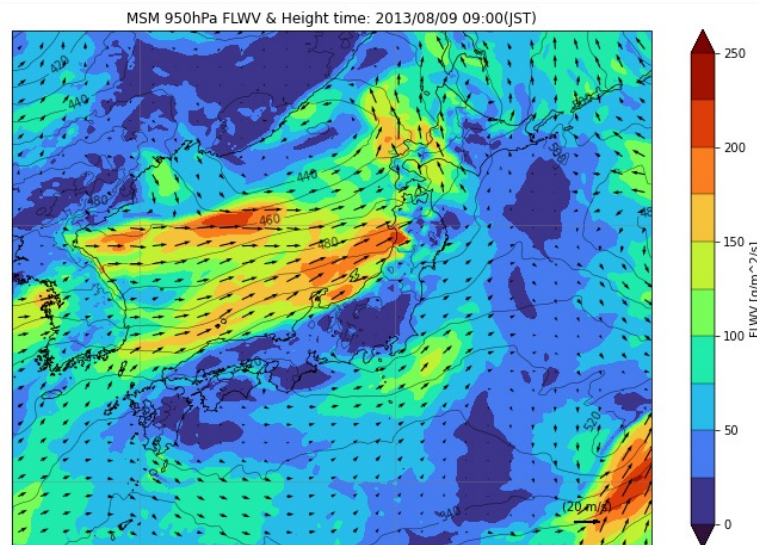
平年ではqvは
13 [g kg⁻¹]程度

MSM解析値を17年平均し作成した8月09JSTの950hPaの水蒸気混合比の気候値.

- ・ 線状降水帯発生時には **18-19 [g kg⁻¹]**の**大量の水蒸気**を含んだ空気が到達
- ・ 水蒸気フラックスでは**150 [g m⁻² s⁻¹]**を超える領域が日本海沿岸部に存在



8/9 09JST の950hPa面MSM解析値の水蒸気混合比



8/9 09JST 950hPa面MSM解析値の水蒸気フラックス (シェード), 高度(コンター), 水平風(ベクトル)

気象庁非静力学モデルNHMの計算設定

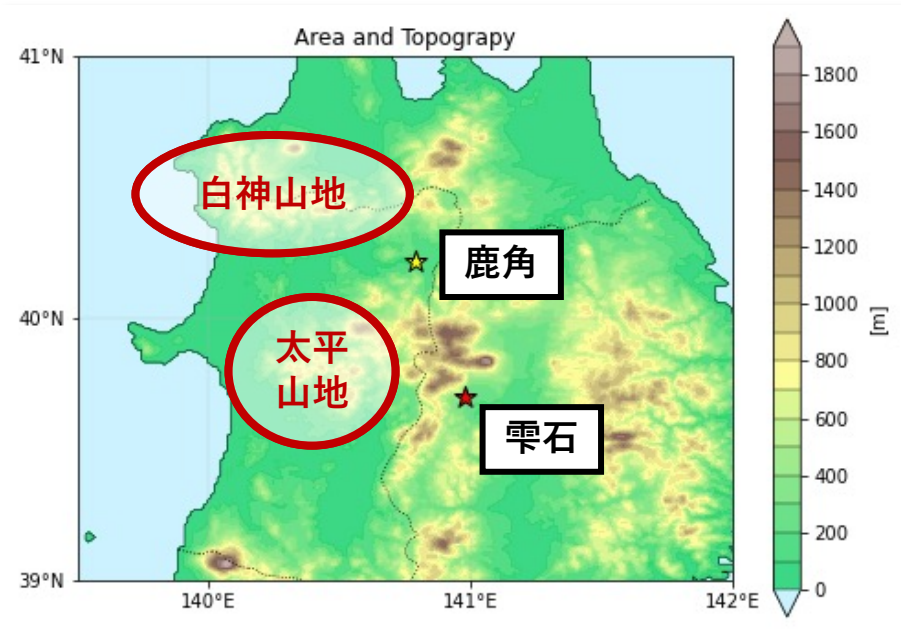
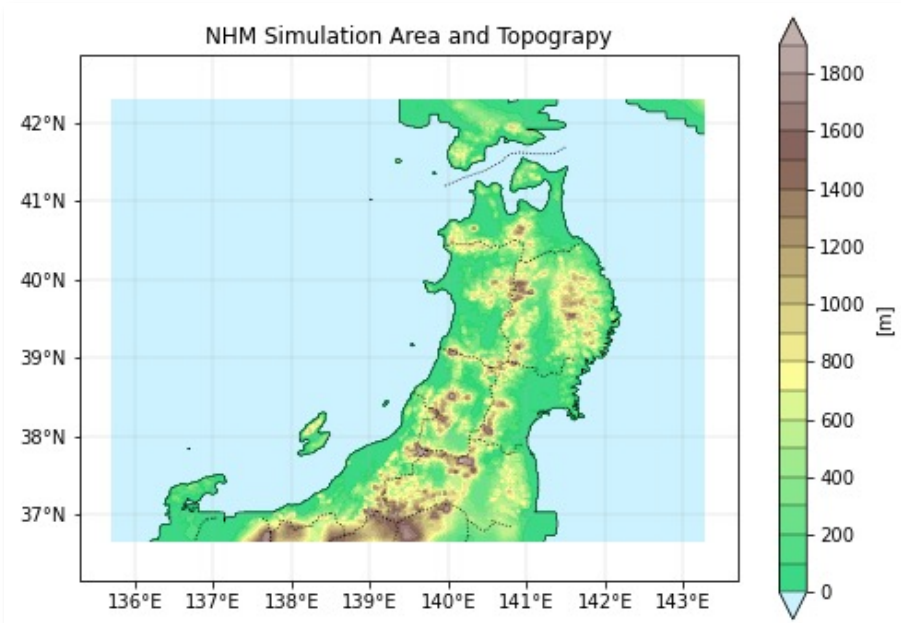
NHM	dx1 CTL
初期時刻	2013 0808 2100(JST)
計算時間	30h
水平解像度	1km
領域中心	(139.5 E, 39.5 N)
格子数	600 × 600
タイムステップ	2s
初期境界値	MSM解析 (5km, 3hr)
対流パラメタリゼーション	なし
雲物理過程	氷相を含む 1momentバルク
乱流クロージャー	MYNN level3

上図: 着色部が計算領域

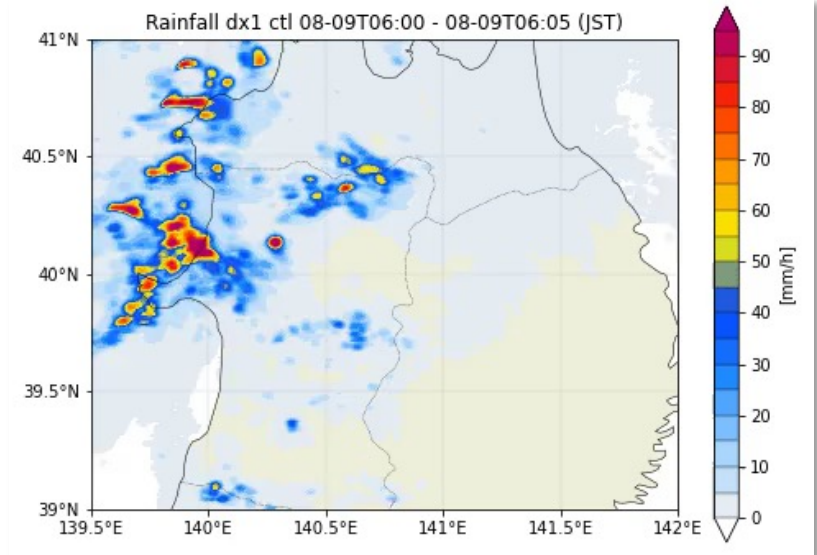
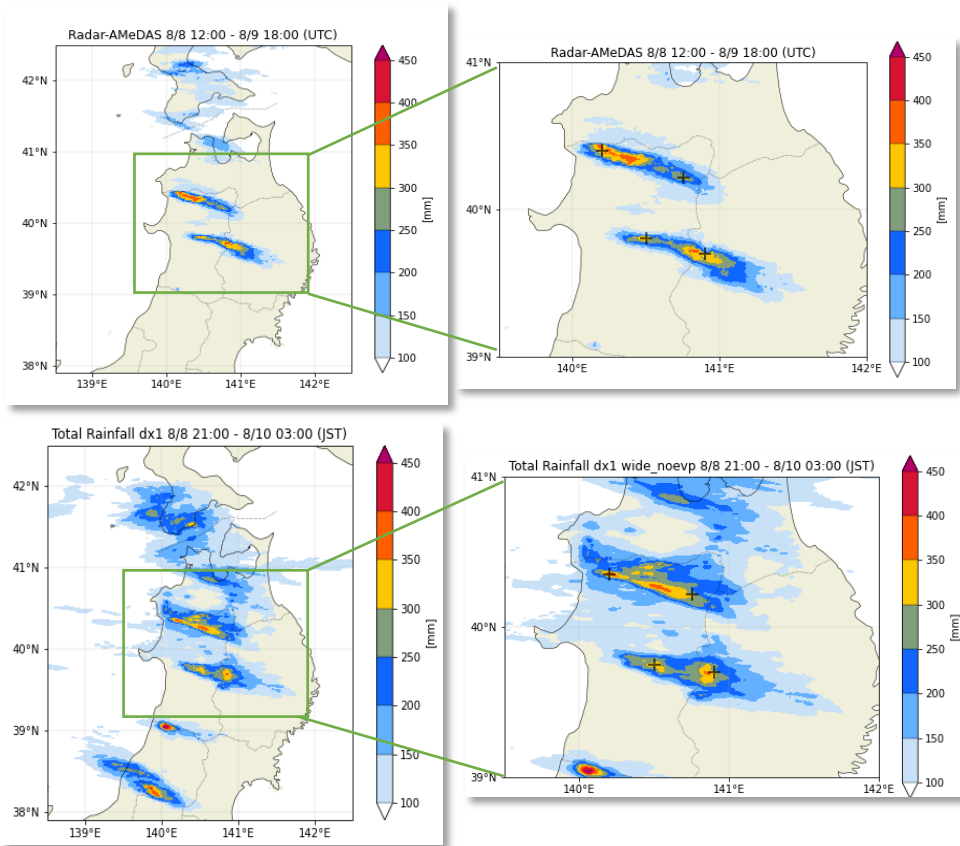
★ 鹿角アメダス

下図: イベント発生域拡大図

★ 雫石アメダス



降水の再現結果



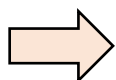
上：レーダーアメダス解析雨量 下：NHM積算降水量

2つの線状降水帯を**精度良く再現 (位置、量)**

8/9 06-18 (JST)の降水強度 [mm/h] NHMの5分積算降水量より計算

2回目の擾乱が西から上陸するまでの
09:30-12:30頃まで線状降水帯が発生

白神山地や太平山地、奥羽山脈を起点
に降水帯が発生 (先行研究と一致)



線状降水帯はバックビルディング型？
線状降水帯の形態や構造は？

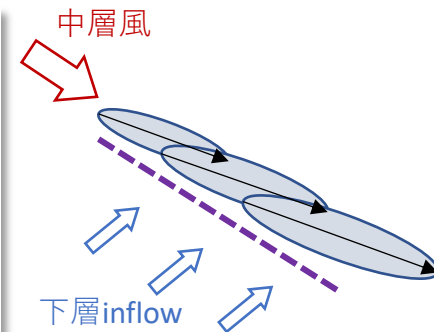
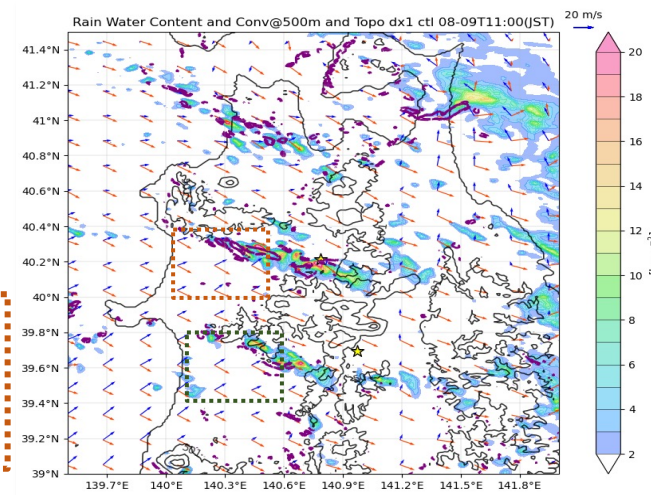
線状降水帯の形態

	スコールライン型	バックビルディング型	バック アンド サイドビルディング型
下層風と上層風 の関係	逆方向	同方向	直交方向
対流セルの 移動	<p>対流セルは対流の発生点で固定 下層インフロー</p>	<p>対流セルは中層風で流される。 下層インフロー</p>	<p>対流セルは中層風で流される。 下層インフロー</p>
対流セルが 発生する場所	<p>地上の収束線 対流セルの発生 下層インフロー 発生 中層風</p>	<p>地上の収束線 対流セルの発生 下層インフロー 中層風</p>	<p>地上の収束線 対流セルの発生 下層インフロー 中層風</p>

線状降水帯は下層風と中層風の関係によりその形態が特徴づけられる(Seko 2010)

本事例で発生した線状降水帯はどうか？
下層：西南西風 中層：西北西風

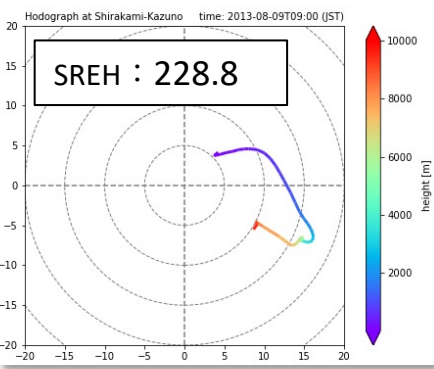
線状降水帯の模式図(Seko 2010)



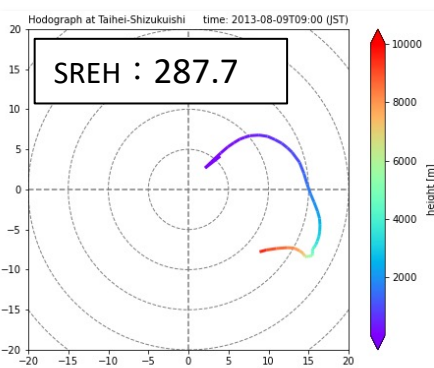
降水が強まった8/9 11:00 JSTの鉛直積算雨水混合比(シェード)、下層収束(紫コンター)、500m,3000m水平風(青,赤ベクトル)

降水帯側面からの下層inflow
-> バックアンドサイドビルディング型の特徴

流跡線解析で降水帯周辺の気流構造を確認



8/9 09:00JST
白神山地・鹿角周辺
(点線域内平均)の
ホドグラフ(NHM)



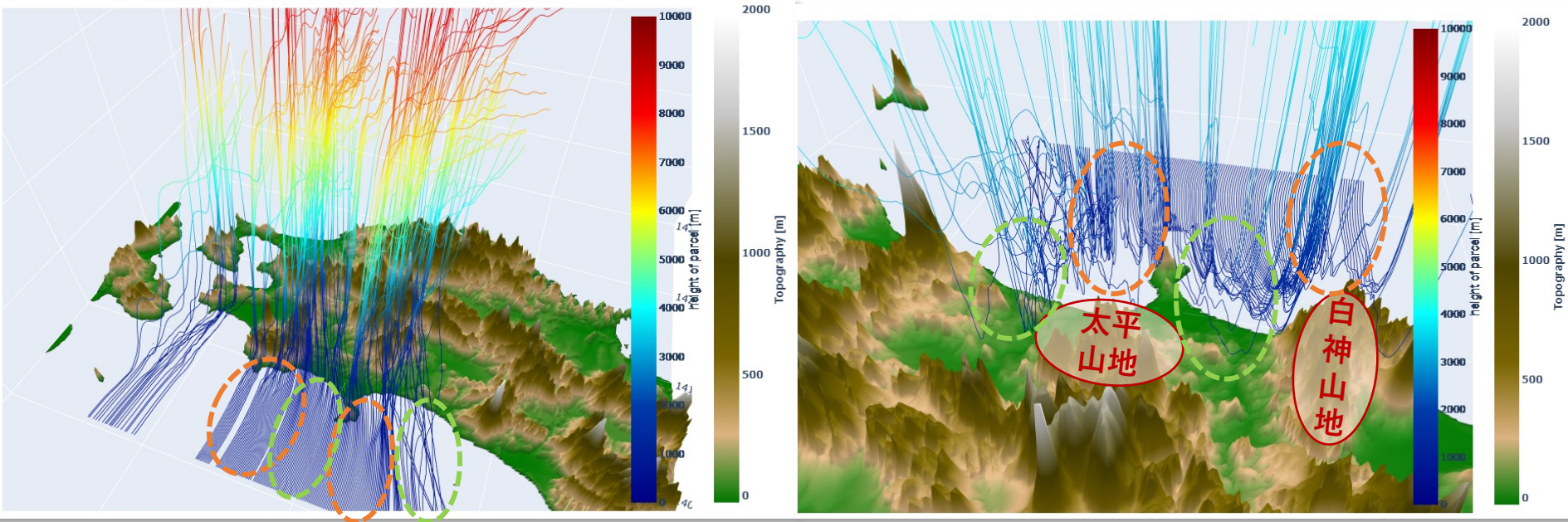
8/9 09:00JST
太平山地・雫石周辺
(点線域内平均)の
ホドグラフ(NHM)

線状降水帯周辺の気流構造(3D)

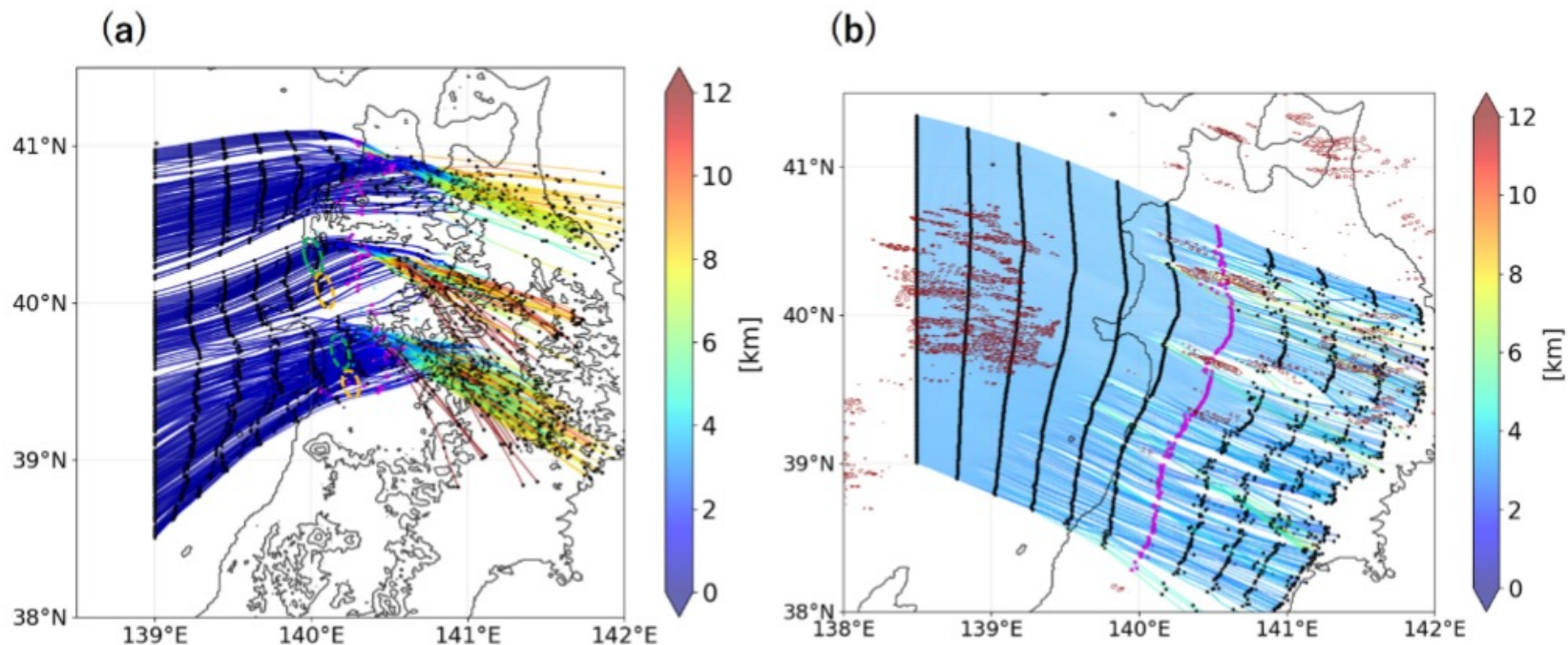
降水帯付近の気流構造を確かめるために、**前方流跡線解析**を行った

	設定
入力データ間隔	20s
積分間隔	3s
積分期間	8/9 09:00-13:00
初期位置高度	620m, 3210m

降水帯上流や側面から空気塊が侵入、上昇し
中上層風の影響を受けて流されていく
様子が確認できる



前方流跡線解析の結果. カラーはパースルの高度. 地形はモデル出力. 最大到達点高度 > 5000m のパースルのみ図示



前方流跡線解析の結果. カラーはパーセル高度.

降水帯にぶつかり, 上昇する空気塊や降水帯を避けるように移動方向を変える空気塊が確認できる. 先行研究(Seko 2010)と整合的

降水帯の気流構造から、**バックアンドサイドビルディング型**の構造を確認することができた

対流セルの構造を調べるために、**対流コアの抽出と鉛直断面コンポジット**を行った

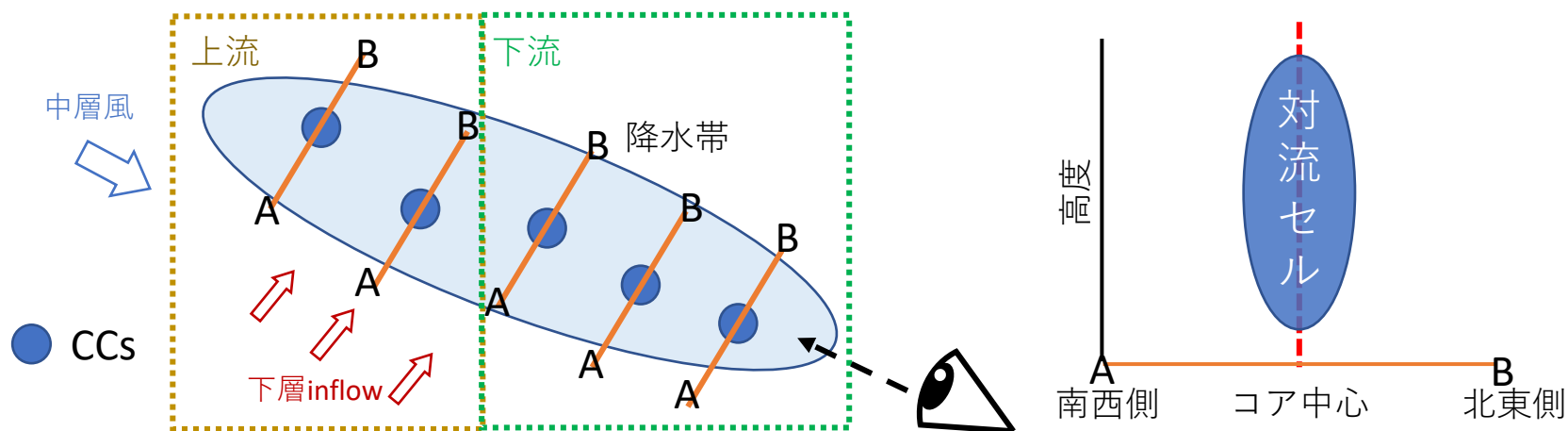
対流コアの抽出法 (Oizumi et al. 2020の手法を一部改変)

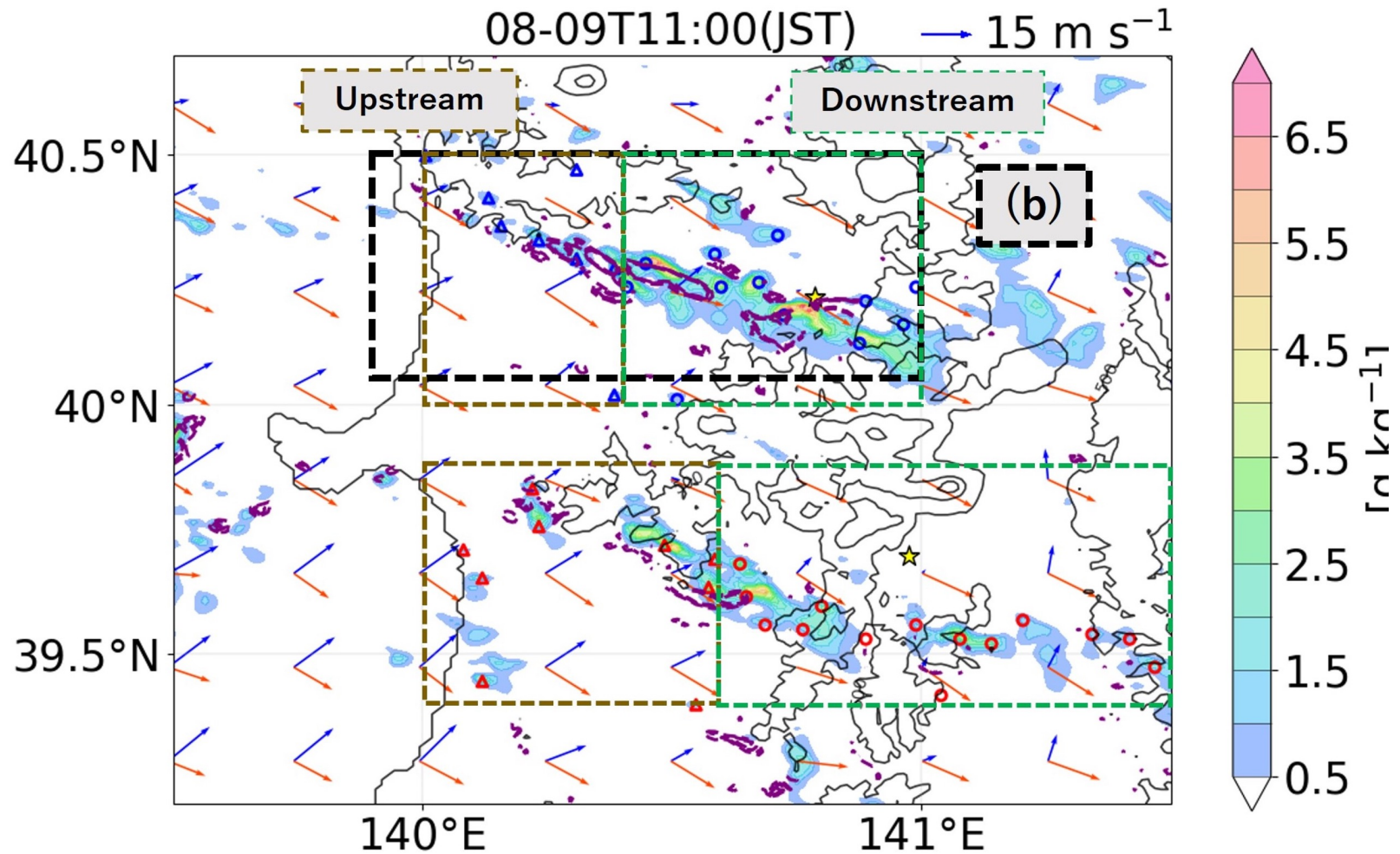
- ① $z=2\text{km}-6\text{km}$ で雲水と雨水の密度を積分し、LWP(Liquid Water Path)とする
- ② $LWP > 1.0 [\text{kg}/\text{m}^3]$ の領域を対流グリッドCGs(Convective Grids)とする
- ③ $z=2\text{km}-6\text{km}$ で鉛直風 w の平均を取る(w_{av} と呼ぶ)
- ④ 隣接する格子がCGsであり、 $w_{\text{av}} > 1.0 [\text{m}/\text{s}]$ かつ極大である格子を対流コアCCs(Convective Cores)とする

コンポジット法

中層($z=3000\text{m}$)風に直交する方向にCCsを中心として鉛直断面を取り、

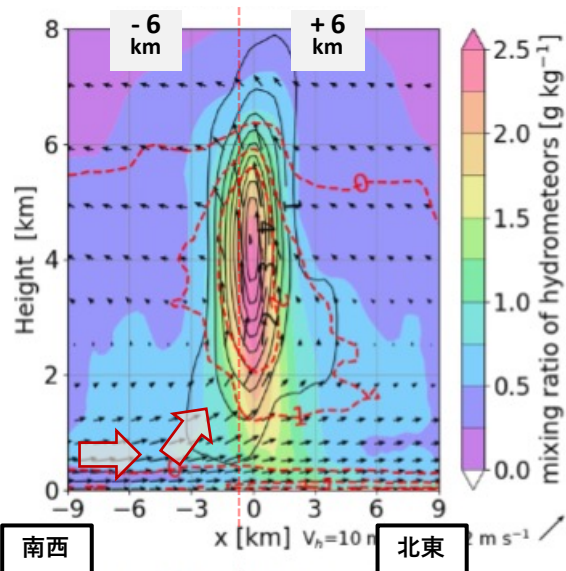
時空間平均 (8/9 0930 - 1200 JST、線状降水帯発生領域、上流と下流で区別)



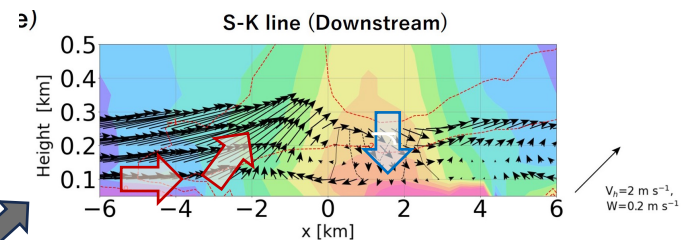
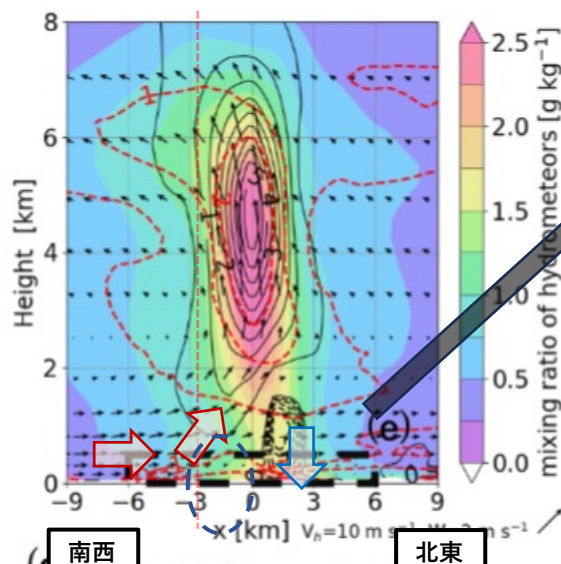


青、赤の△、○マークが抽出した対流セルに対応

白神一鹿角 (上流)



(b) 白神一鹿角 (下流)



下流の特徴

対流セルの**非対称構造**を確認

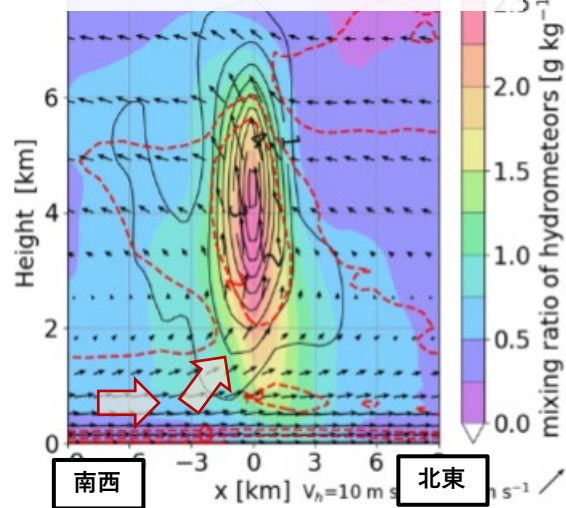
- ・ コアの南西側に上昇領域が存在

- ・ 下層北東側で雨水混合比が大
- ・ 北東側では対流セル北東側に下降領域が存在

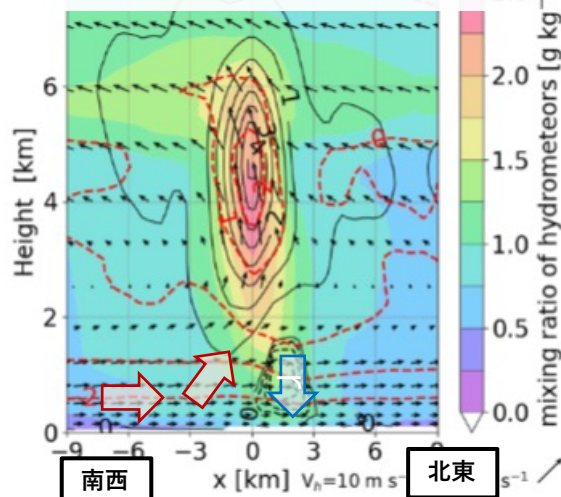
-> 側面からの下層inflowと収束し上昇

-> 対流強化

大平一雫石 (上流)

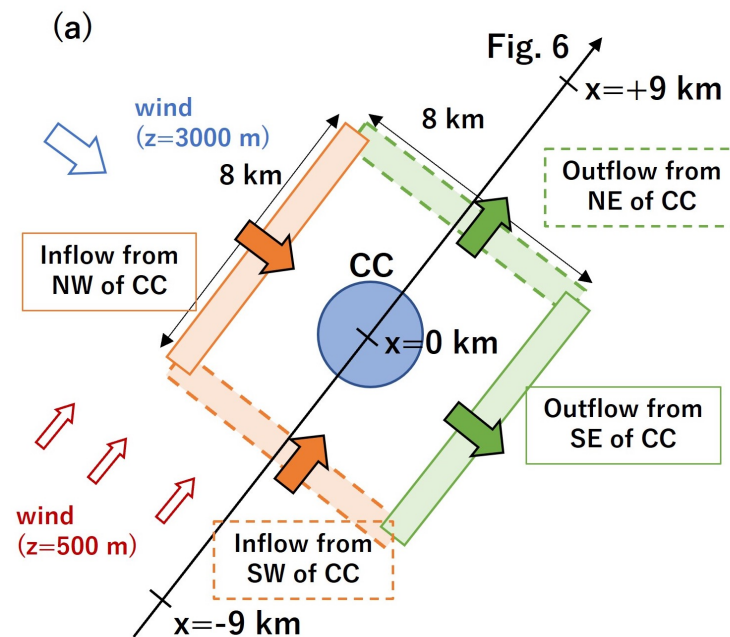
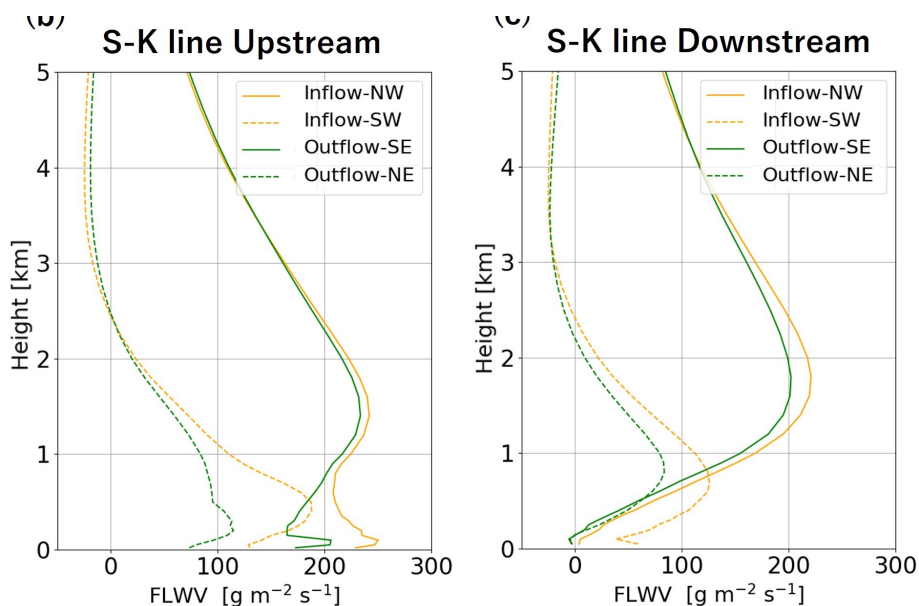


(d) 大平一雫石 (下流)



コンジットで得られた対流セルの鉛直構造. コンターは鉛直風, シェードは水物質(qc+qci+qr+qs+qg). ベクトルの鉛直風は10倍し強調

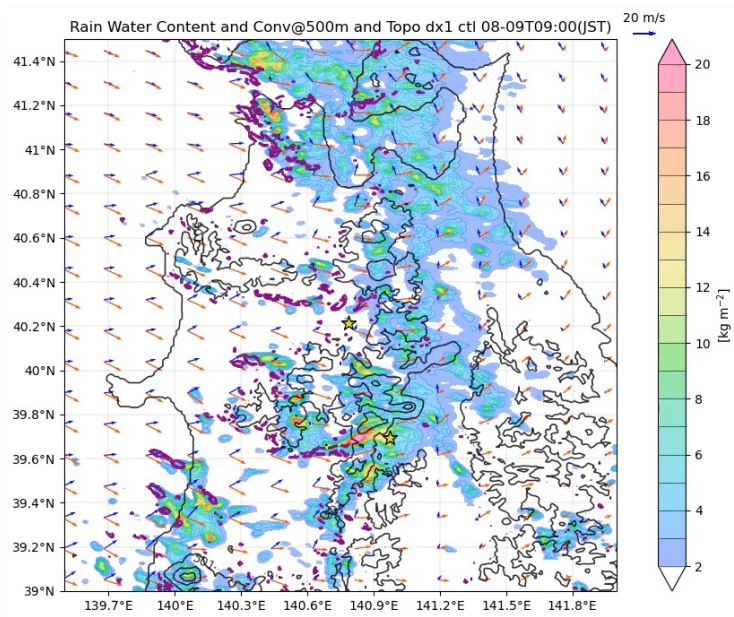
対流コアを中心とする8km四方の矩形領域を考える
南西側と北西側の断面について、矩形領域に流入する水蒸気フラックスを計算しコンポジット、水平平均



- ・ 上流：前面と側面からの流入した水蒸気フラックスの収束
- ・ 下流：側面から流入した水蒸気フラックスの収束

バックアンドサイドビルディング型の特徴が確認

ここまで、線状降水帯側面からの流入が対流を強化することを示した
-> そもそも**対流の発生要因**は？ e.g. 地形？収束場？



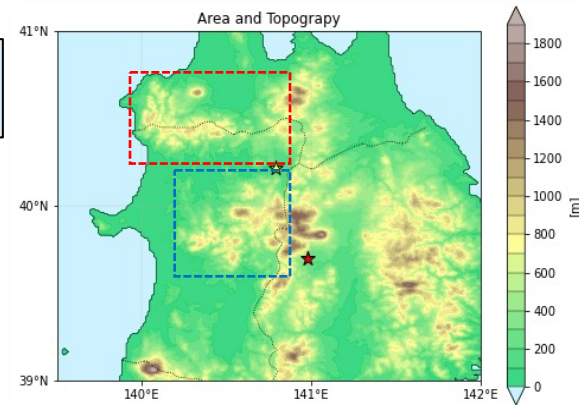
- ・ 白神山地や太平山地を起点に対流が発生している様子が確認できる
- ・ 風上側で下層風の水平シアは小さく、水平風の収束はみられない

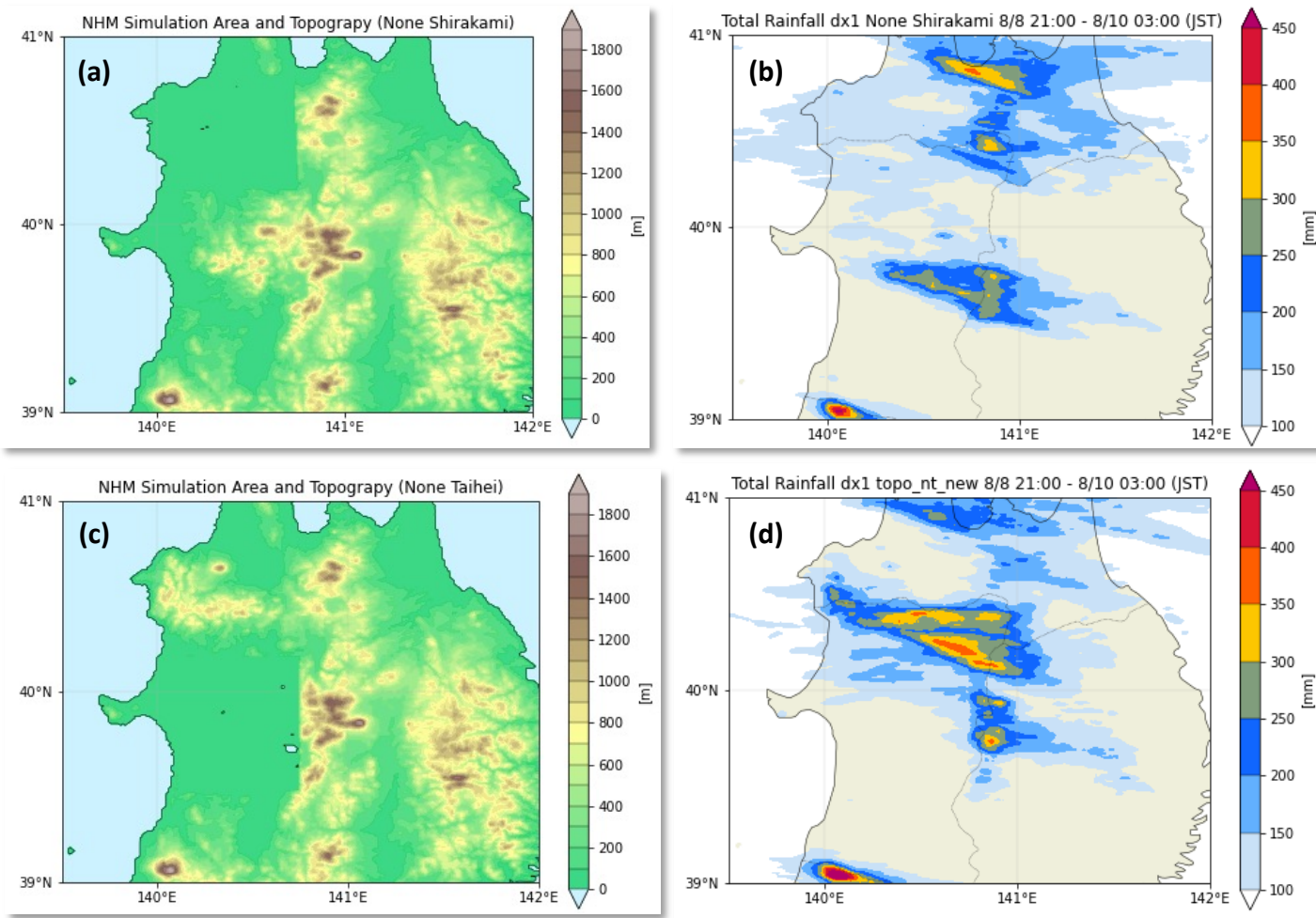
線状降水帯が発生した8/9 9:30-12:00 JSTの鉛直積算雨水混合比(シェード)、下層収束(茶コンター)、500m,3000m水平風(黒,グレイベクトル)

先行調査でも、**地形による対流の発生**が指摘 (気象研 2013)

地形を除去した感度実験により地形影響を調査する

- ① 白神山地を除去した実験
- ② 太平山地を除去した実験





- (a): 白神山地を除去した地形
- (b): (a)の地形でシミュレーションを行い、再現された降水
- (c): 太平山地を除去した地形
- (d): (c)の地形でシミュレーションを行い、再現された降水

- それぞれ地形を除去すると線状降水帯は再現されない
- 太平山地を除去すると、白神-鹿角の線状降水帯が強化
→ 側面からの下層inflowが降水帯を強化していることと整合

本研究のまとめ

- ・ 2013年8月9日に北東北で発生した線状降水帯を**高い精度で再現**
- ・ 下層風と中層風の関係や気流構造から、本事例の線状降水帯は**バックアンドサイドビルディング型の特徴**
- ・ 対流セルの**移動方向側面からの流入**が存在し、白神山地や太平山地付近の地形性上昇流によって生じた対流を強化
- ・ **山地による下層暖湿空気の強制上昇**が線状降水帯の発生要因として重要

