



中部山岳域のフェーンにおける 降水の寄与

気象研究所

石崎 紀子 ・ 高藪 出

はじめに

- フェーン
アルプス北面のおろし風の固有名称に由来している。山越え気流に伴う昇温現象で、世界各地で観測される。
- 日本のフェーン現象
事例解析や、観測ベースの研究はいくつかあるが (Arakawa et al. 1982; Inaba et al. 2002), 統計的な解析や、領域モデルを用いた研究は少ない。

フェーンの昇温原因

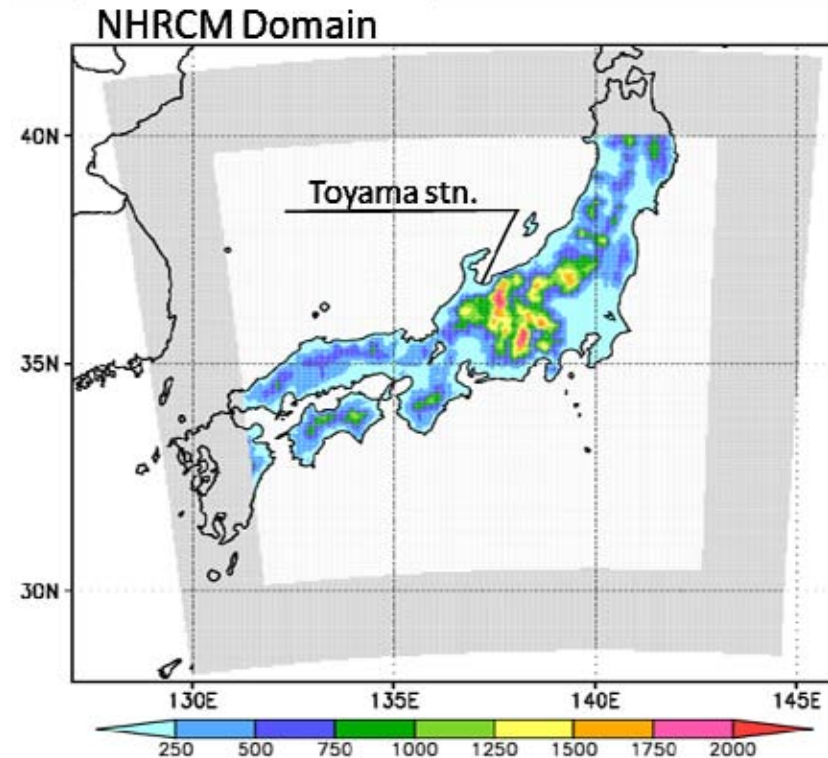
- Hann(1866)「Thermo-dynamical foehn theory」
フェーン昇温における潜熱
- 潜熱だけでは昇温は説明できない (Seibert, 1990)
- 降水に伴う蒸発冷却が昇温を妨げる (Zangle, 2006)
- 日本の北陸地方のフェーンは雨を伴う場合とそうでない場合がある.

目的

- NHRCMを使って、フェーンの昇温のメカニズムを調べる.
- ★潜熱の寄与はあるのか？日本特有の昇温メカニズムがあるのか？

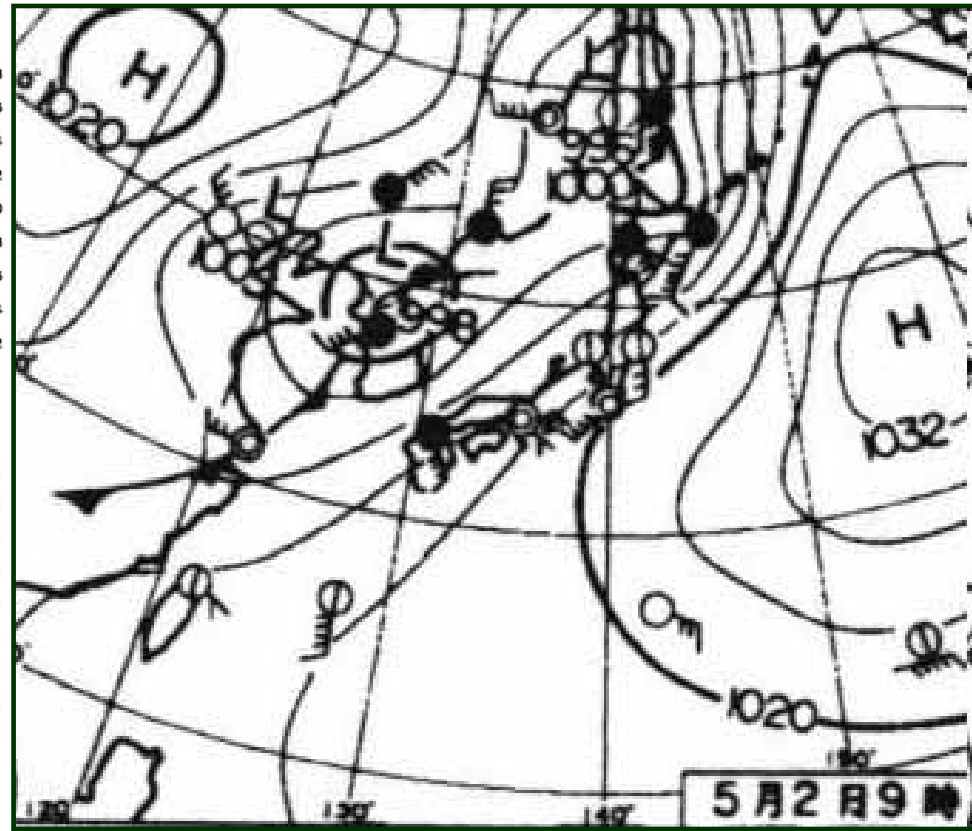
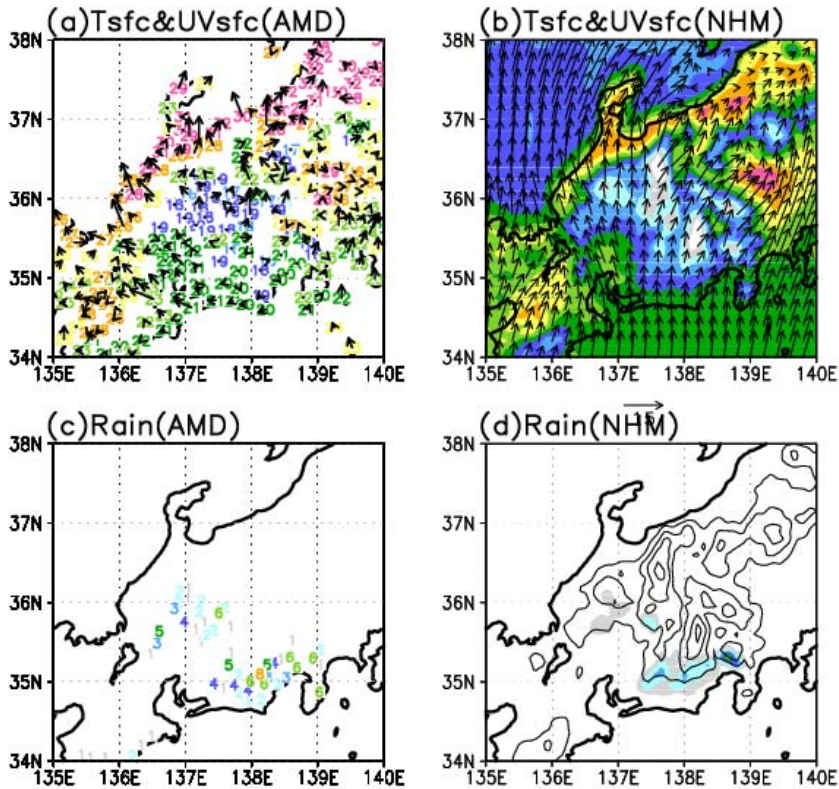
モデル設定

	モデル設定
モデル	NHRCM
格子数	145 × 145 × 40
解像度	10km
駆動データ	JRA-25
計算期間	1998年4月25日～5月6日
陸面	SiB
対流	KF



アメダスの26年間の解析で、富山stn.でもっともフェーンが持続した98年5月1～2日を対象にした。

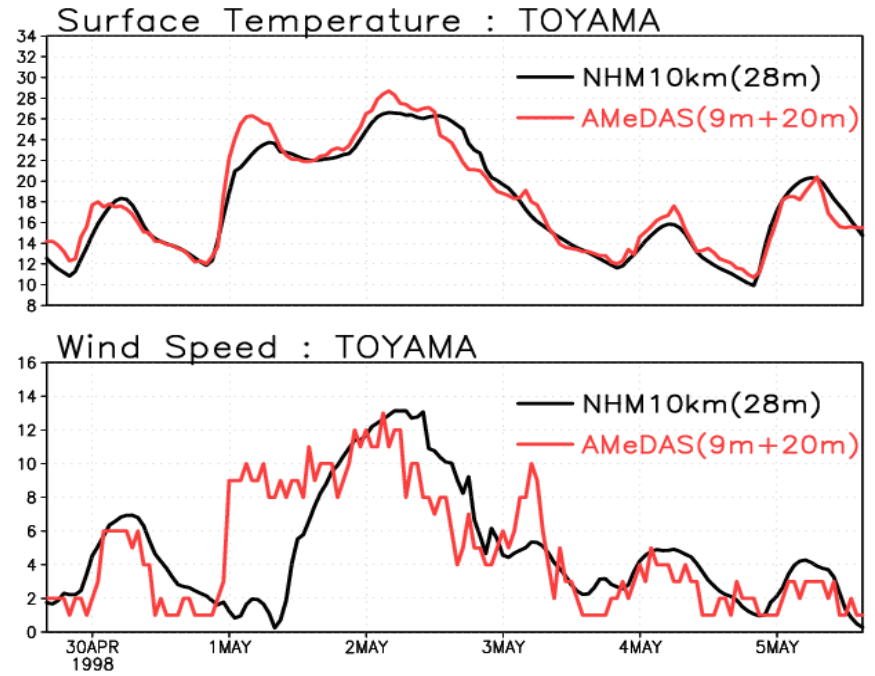
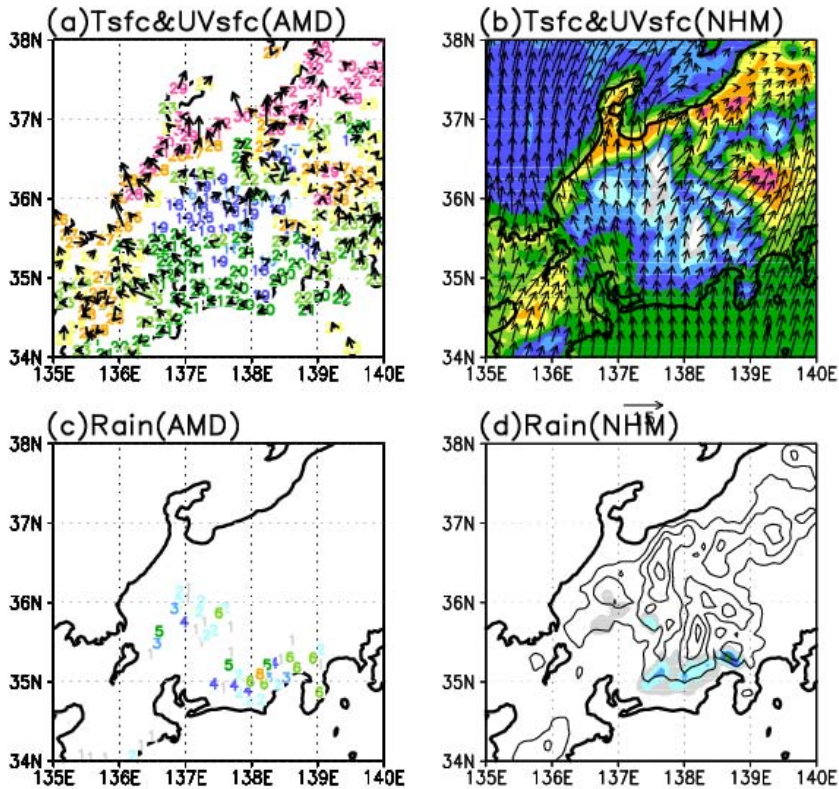
再現性の検証



98年5月2日06Zの気温(上)と降水(下).

日本海側では5月1日～2日にかけて気温が高い状態.
モデルは最大値を過小評価しているが, 分布はよく一致している.

再現性の検証

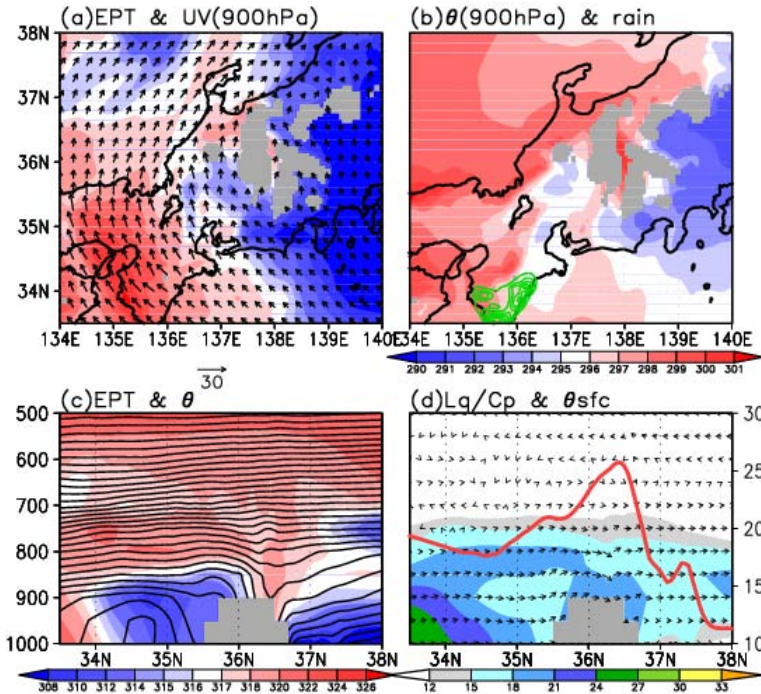


富山stationでの気温と風速の時間変化.

98年5月2日06Zの気温(上)と降水(下).

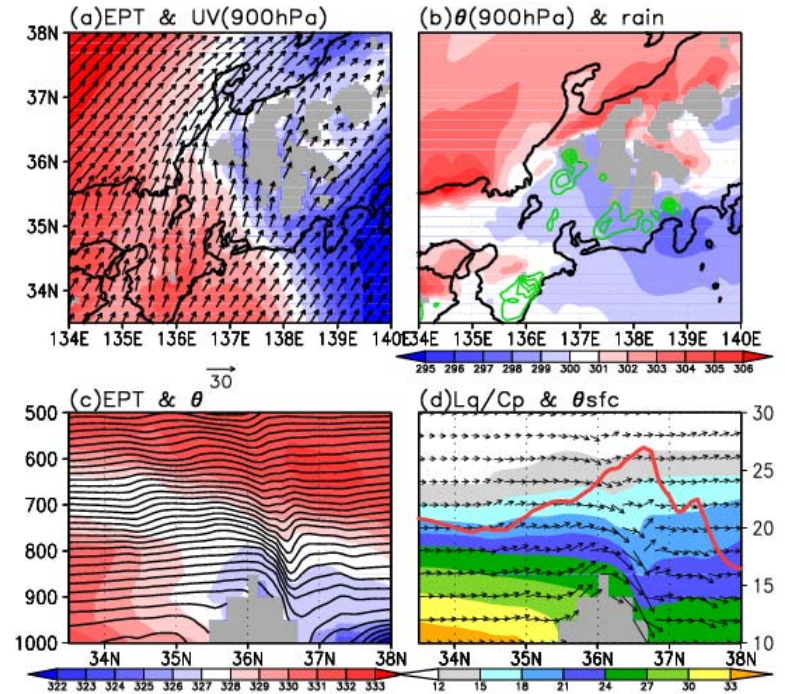
日本海側では5月1日～2日にかけて気温が高い状態。
モデルは最大値を過小評価しているが、分布はよく一致している。
富山の気温と風速の時系列もよく合っている。

5月1日03Z



相当温位・温位ともに風下で高い。
温位は850hPaくらいまでほぼ一定。

5月2日03Z



温位は風下で高いが、相当温位はあまり
変わらない。雨が風上で降り始める。
風下で温位が高い。この波は500hPaより
上層まで続いている。

日射と雨の有無で、1日昼(日射あり, 雨なし), 1日夜(日射なし, 雨なし), 2日昼(雨あり)の3つの場面において、メカニズムを考察する。

フェーン時のトラジェクトリー解析

namelistの主要要素	今回の解析
前方/後方流跡線解析	後方流跡線解析
拡散の有無	なし
パーセルを放出する緯度・経度・高度	36.708N, 137.202E(富山) 2m, 10mなど
開始時間と終了時間を選択	5/1 03Z, 15Z, 5/2 03Z
1回の放出時にいくつ流すか	20個のparticle

$$\Delta SE = g\Delta Z + C_p\Delta T \quad \dots \text{静的エネルギー}$$

乾燥過程で保存

$$\Delta MSE = \Delta SE + L\Delta q \quad \dots \text{湿潤静的エネルギー}$$
$$= g\Delta Z + C_p\Delta T + L\Delta q \quad \text{湿潤過程で保存}$$

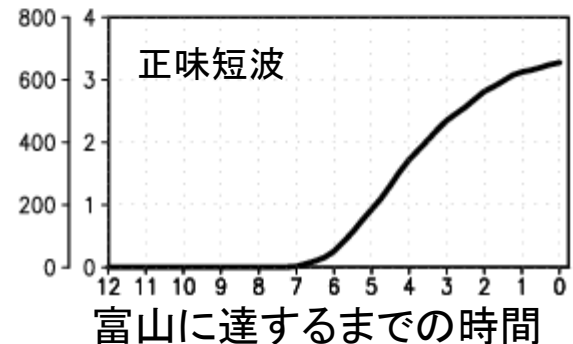
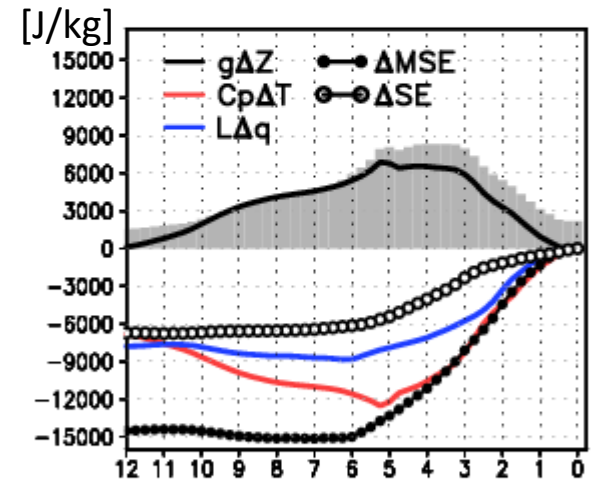
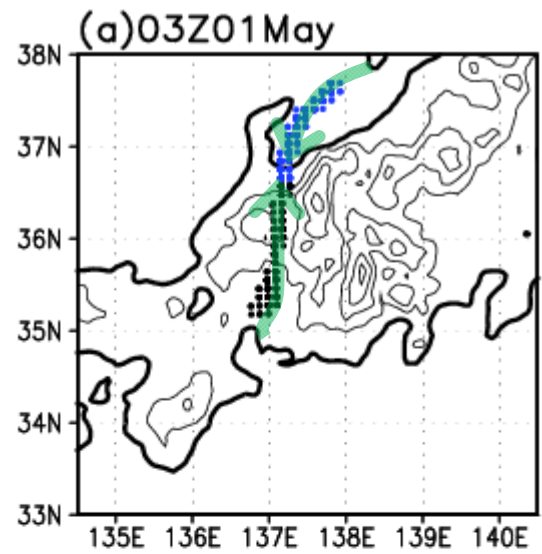
5月1日03Z(日中)

富山平野には、北からの冷たい空気と南からの暖かい空気が流入。
北からの空気が気温の上昇を抑えている。

南からの粒子のトラジェクトリー

各項	増減
$g\Delta Z$	0
$C_p\Delta T$	増(+7K)
$L\Delta q$	増
SE(静的)	増
MSE(湿潤静的)	増

湿潤静的エネルギー，静的エネルギーともに正味放射の増加に合わせて変化しており，日射による地面からの潜熱顕熱が昇温の原因と考えられる。



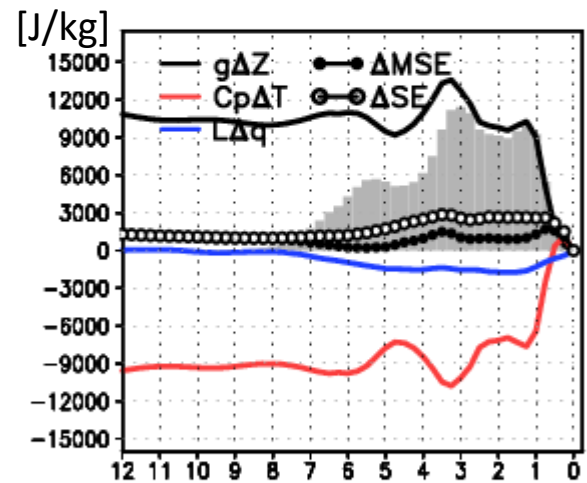
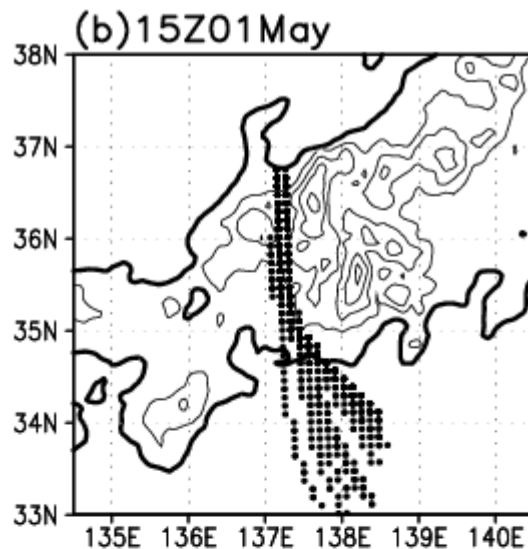
富山に達するまでの時間

5月1日15Z(夜間)

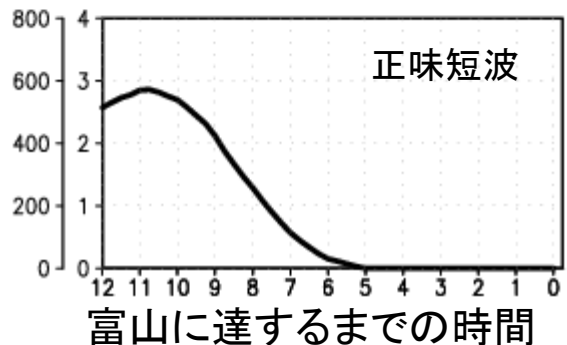
太平洋側の高い高度から富山平野に達する. 雨はまだ降っていない.

南からの粒子のトラジェクトリー

各項	増減
$g\Delta Z$	減
$C_p\Delta T$	増(+9K)
$L\Delta q$	0
SE(静的)	0
MSE(湿潤静的)	0



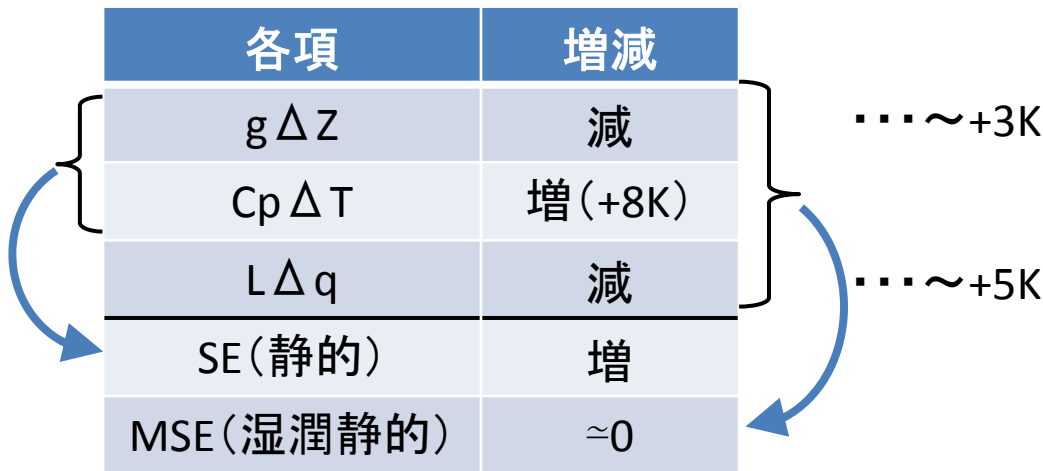
湿潤静的エネルギー, 静的エネルギーともにほとんど変化していない.
すなわち, 乾燥断熱で気温が上昇した.



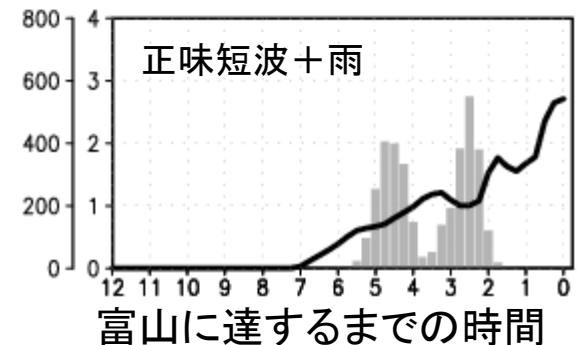
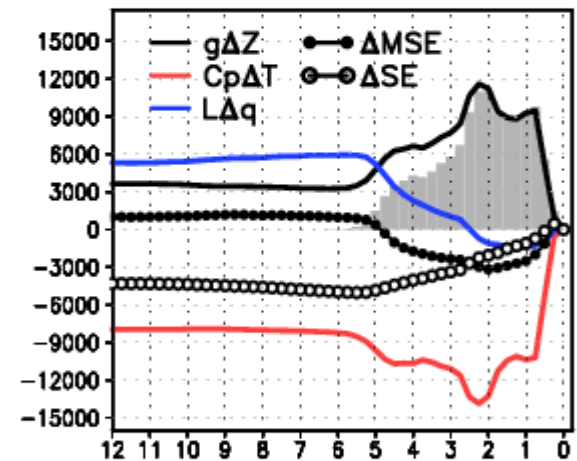
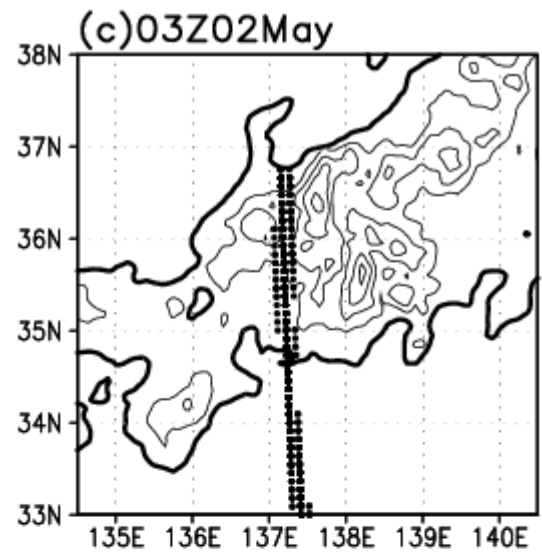
5月2日03Z(日中)

雨が風上で降り始める. ほとんど南北方向に粒子が進んでくる.

南からの粒子のトラジェクトリー



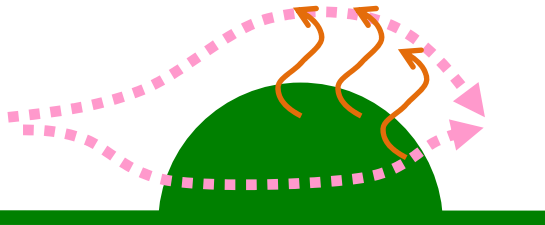
風上で雨が降っていることから, 潜熱の放出がある. また, $L\Delta q$ の減少で $C_p\Delta T$ の増加が相殺され, 湿潤静的エネルギーの変化は小さい. 湿潤断熱過程で空気が運ばれ, 風下の気温が上昇した. $L\Delta q$ の減少で温度上昇の少なくとも6割を説明できる.



トラジェクトリー解析のまとめ

- 3つの昇温メカニズムでは、静的エネルギーと湿潤静的エネルギーの変化が異なることが、トラジェクトリー解析によって明らかになった。

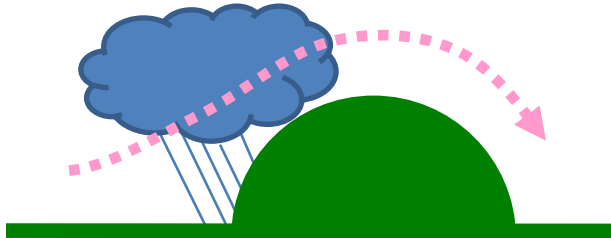
①



SE増, MSE増

②

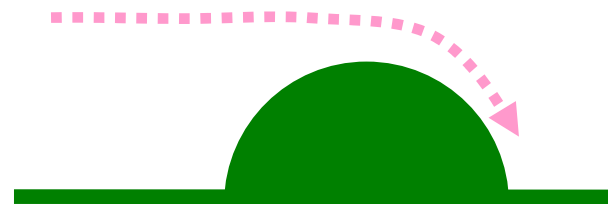
Wet foehn



SE増, MSE不変

③

Dry foehn



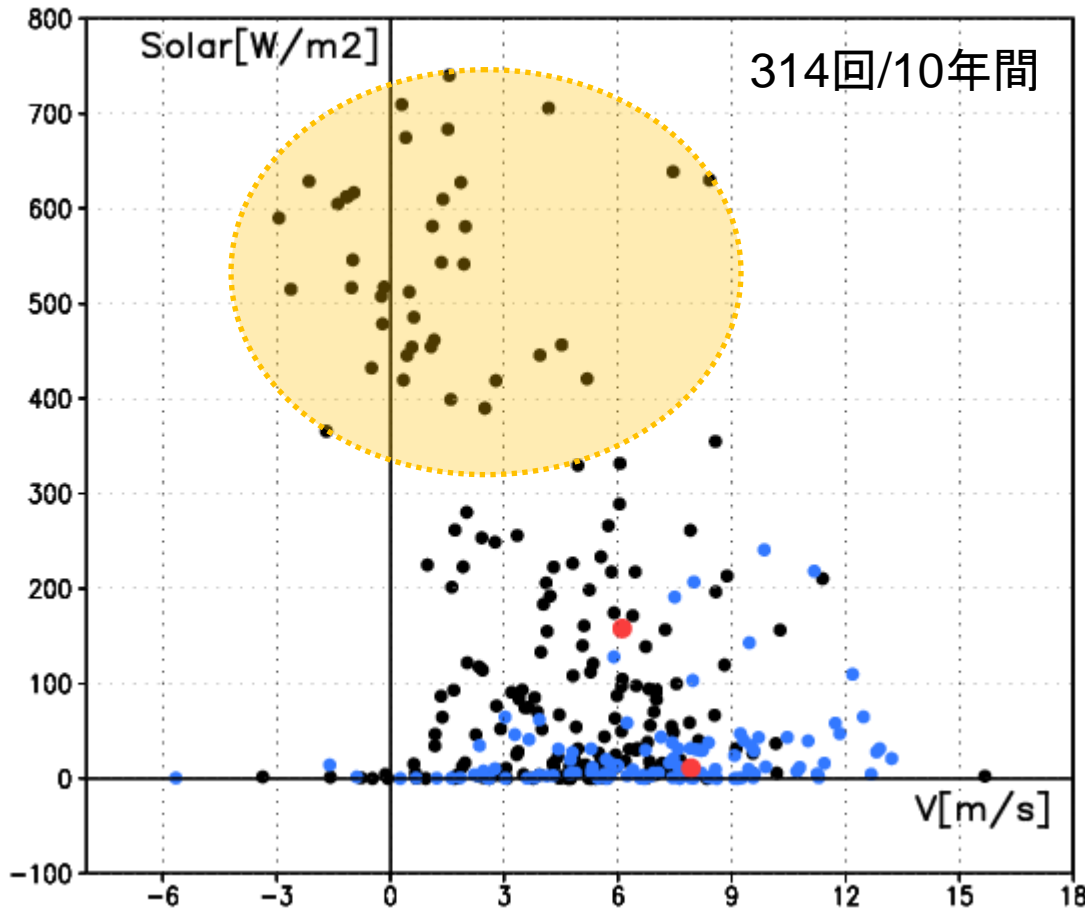
SE不変, MSE不変

場所や大気の状態に応じて、3つのうちのどれかのメカニズムを通して昇温が起こっている。フェーン現象は、これらのいくつかの組み合わせで起こっていることが多い。

気候学的に見た各メカニズムの割合

- トラジェクトリー解析を行わずに、日射と風速、風上の雨によって**20kmNHRCM**の長期シミュレーションの結果を大別した.

富山の昇温現象



20kmNHRCMで1995～2004年の間に6時間以上気温アノマリーが5度以上続いたケース(314ケース)の、風下の南北風と日射の関係。

日射が十分にあって昇温する場合には、風下の風速が弱い傾向が見られる。
⇒風が強くなくても風下で昇温する事例がある。314ケースのうち、約14%。
(フェーン現象ではない。)

風上の雨の量で、Wet foehn とDry foehnを厳密に分割することはできないが、目安にはできる。
昇温時に2mm/hourの雨が合った場合は、昇温イベントの1/3を占める。

まとめ

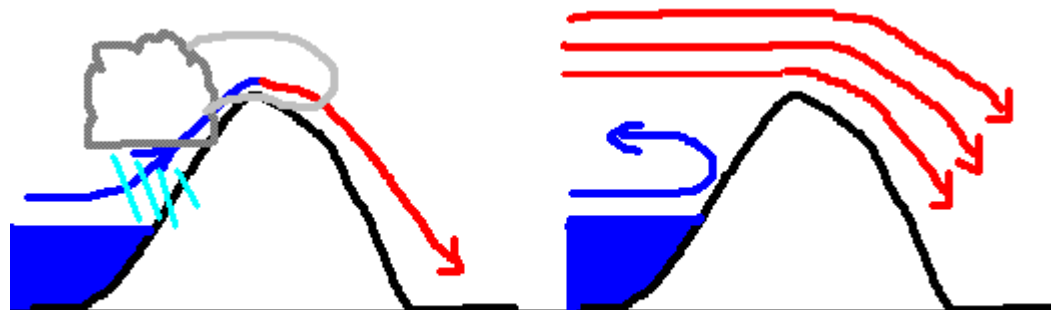
- 10kmNHRCMを用いた事例解析と、トラジェクトリー解析によって、風下昇温の3つのメカニズムが明らかになった.
- Wet foehnのときの水蒸気の減少は、温度上昇の少なくとも60%に寄与していた.
- 潜熱放出が昇温の主な原因と考えられるものは、昇温現象の3分の1を占める.

謝辞

- 本研究は、環境省の地球環境研究総合推進費(S-5-3)の支援により実施されました。
- 研究を進めるにあたって、筑波大の木村富士男教授には度々コメントをいただき、議論していただきました。ここに謝意を表します。



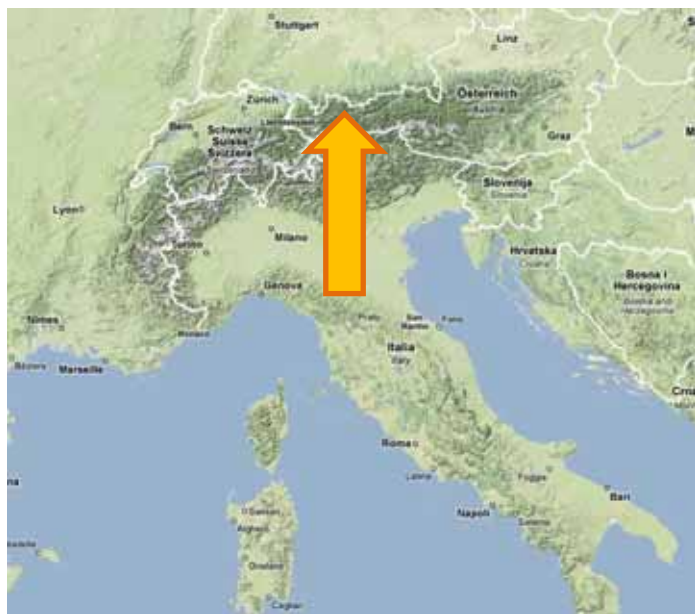
Seibert (1990): Origin of foehn air



a) "Swiss Foehn"

b) "Austrian Foehn"

<http://www.inntranetz.at/foehn/> から引用



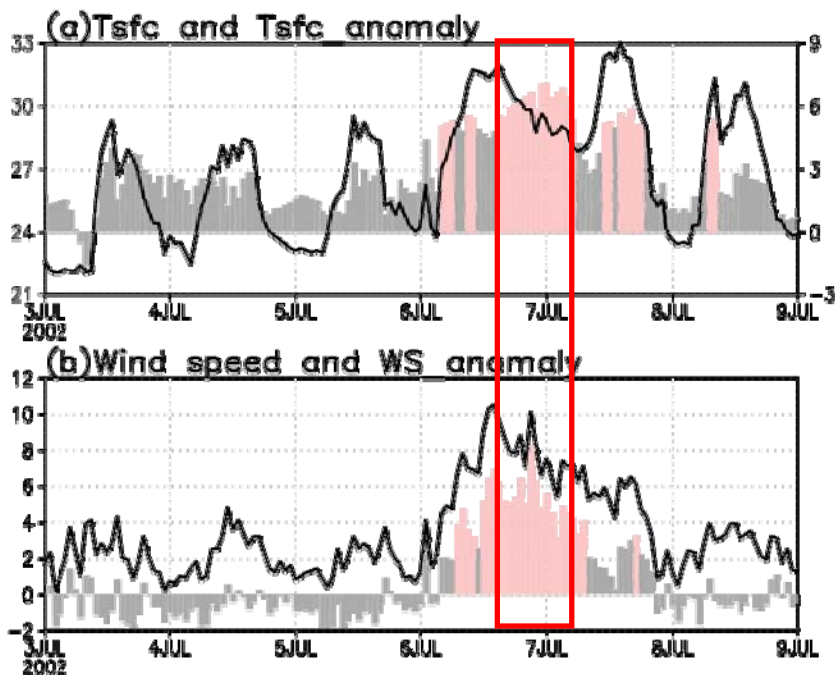
雨が降っても、その寄与はせいぜい1～2Kにとどまり、6～7Kの昇温の本質的な要素ではない。

山脈を越える気流は地面から持ち上げられてはならず、上空2000～2500mの空気が風下に降りてきている。

地表近くの空気は、持ち上げられず、ブロックされている。

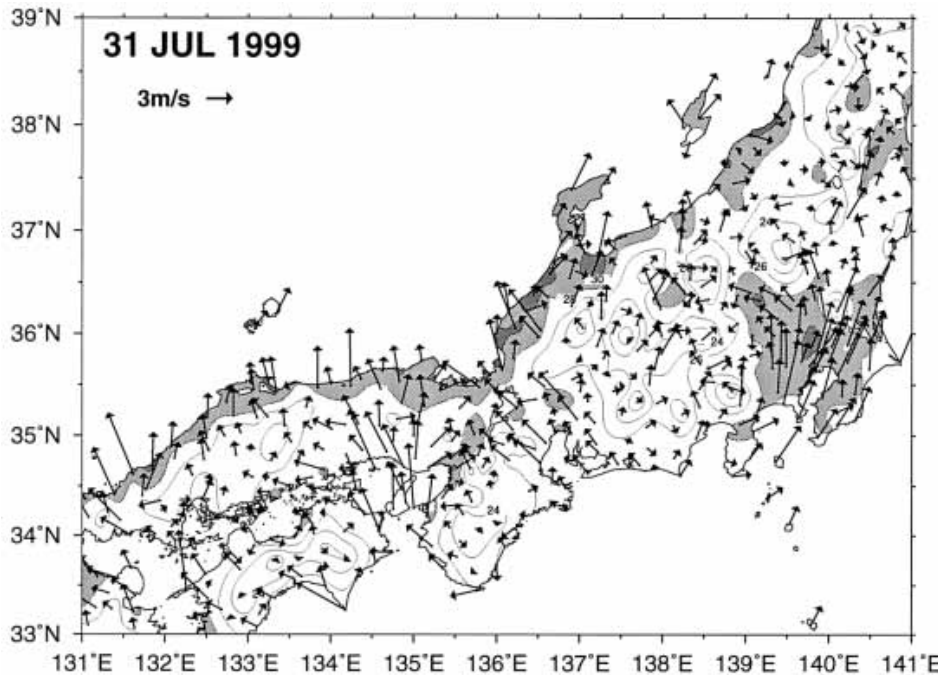
Definition of the event (foehn)

- ① 各観測点で、10日前から10日後の計21日間で、同じ時刻の平均値からの偏差を計算する。
- ② 上記の方法で計算されたアノマリーが、気温は5度以上、風速が3m/s以上の状態が6時間以上持続した場合をフェーンと定義する。
- ③ 条件が継続して満たされている間は1つのイベントとしてカウントする。



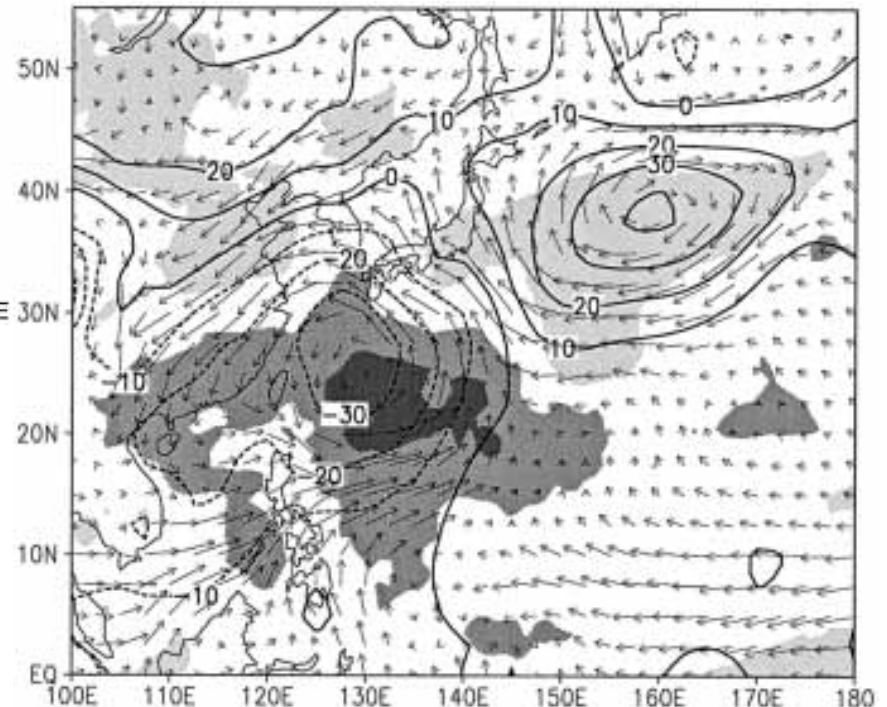
← 富山での例.
実線が気温(上)と風速(下). バーは
アノマリー.
ピンク色のバーは閾値を超えているこ
とを示す.

Inaba et al. (2002): Prolonged foehn



- ① 日最高気温が35度以上
- ② 日最低湿度が45%以下
- ③ 日平均風速が3m/s以上
- ④ 日最多風向がSSW, S, SSE, SE

5日にもわたるフェーンには、PJパターンとそれに伴う大規模擾乱が重要な役割を果たしていた。



03Z01MAY1998

(a)EPT&UV(900hPa)

(b) θ (900hPa)&rain

15Z01MAY1998

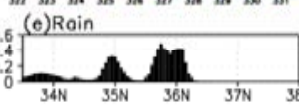
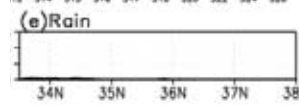
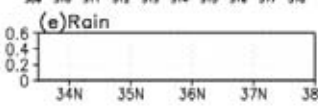
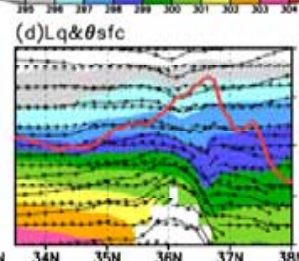
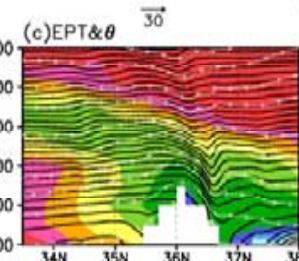
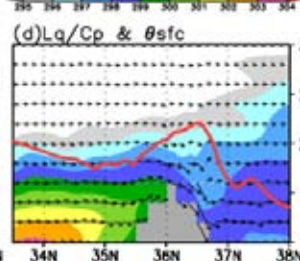
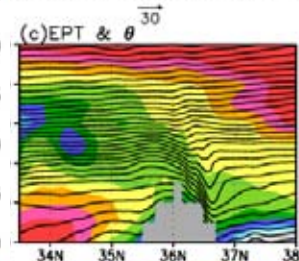
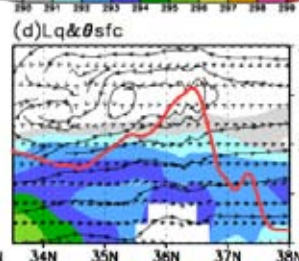
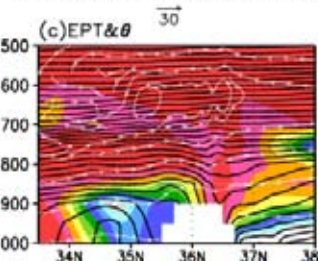
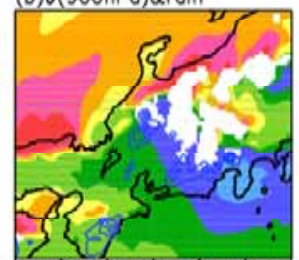
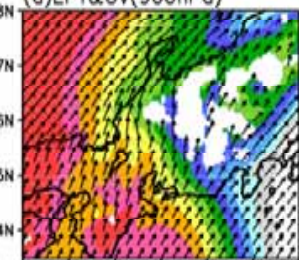
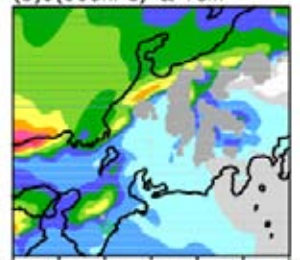
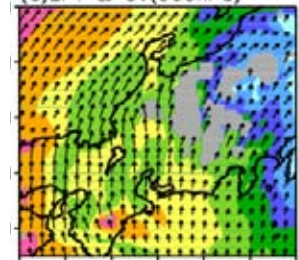
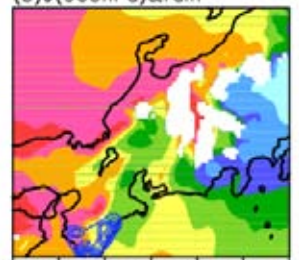
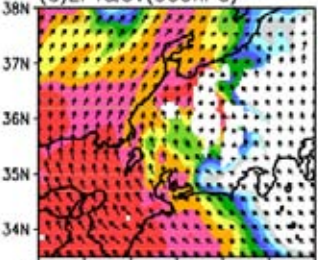
(a)EPT & UV(900hPa)

(b) θ (900hPa) & rain

03Z02MAY1998

(a)EPT&UV(900hPa)

(b) θ (900hPa)&rain



フェーン時のトラジェクトリー解析

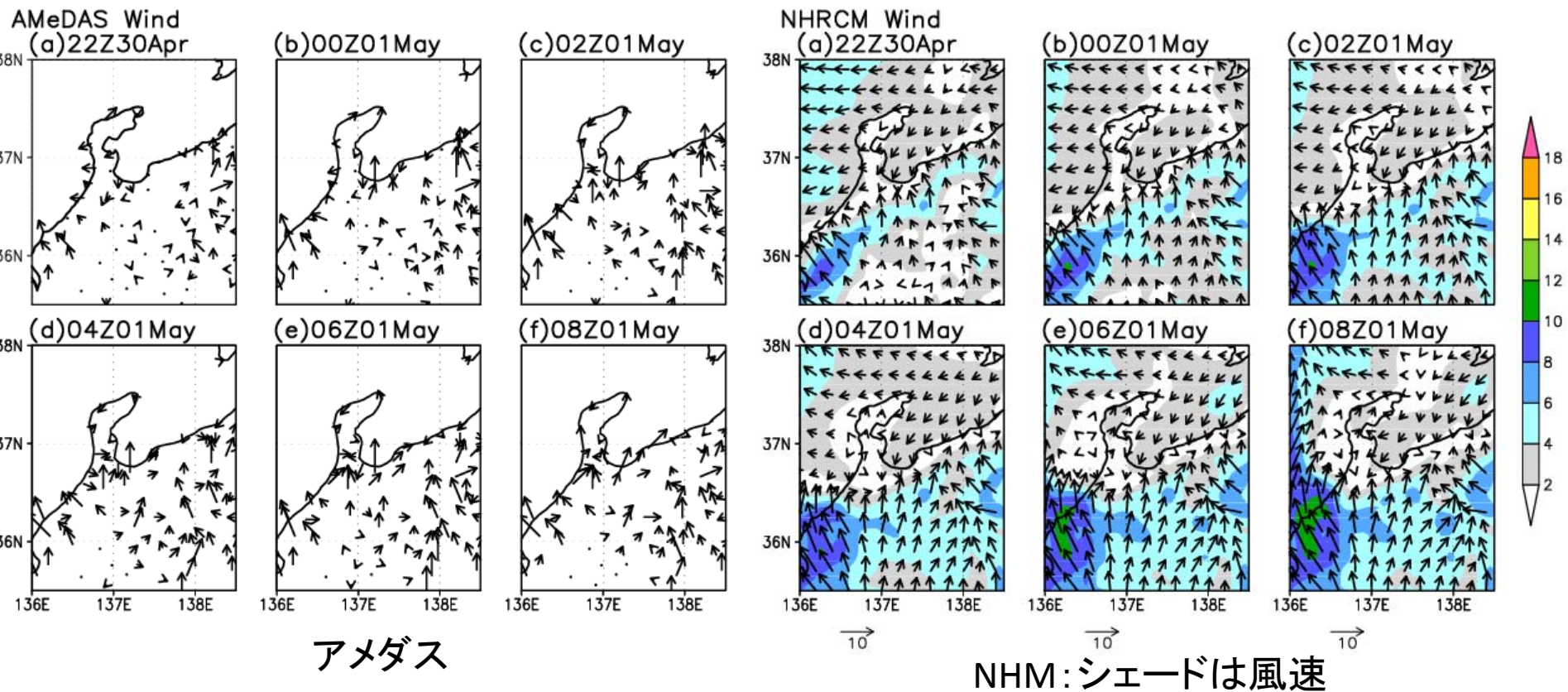
namelistの主要要素	今回の解析
前方/後方流跡線解析が可能	後方流跡線解析
拡散の有無を選択可	なし
出力要素はMRI形式データから選択	Qv, PT, 高度など
パーセルを放出する緯度・経度・高度	36.708N, 137.202E(富山) 2m, 10mなど
開始時間と終了時間を選択	5/1 03Z, 15Z, 5/2 03Z
1回の放出時にいくつ流すか	20個のparticle
移流計算(NHMのtime stepの何倍か)	10(デフォルト)

$$\Delta SE = g\Delta Z + C_p\Delta T \quad \dots \text{静的エネルギー}$$

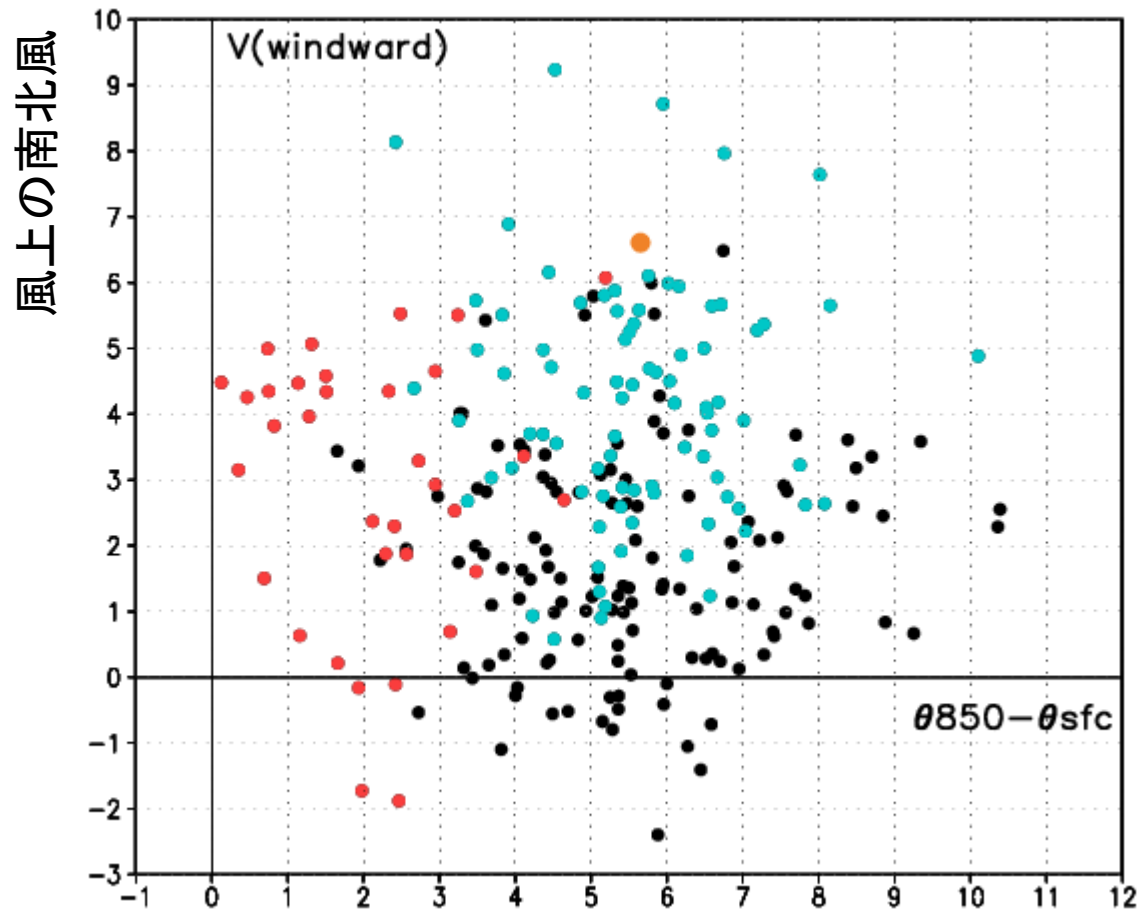
$$\Delta MSE = \Delta SE + L\Delta q \quad \dots \text{湿潤静的エネルギー}$$

$$= g\Delta Z + C_p\Delta T + L\Delta q$$

5月1日の下層の強風は？



富山以外のアメダス地点では、5月1日00Zの風は弱く、風向もどちらかという
と海風。08Zを過ぎる頃から全体的に南寄りの風が強くなってくる。1日の
富山の強風は、よりローカルなものであったと考えられ、10km解像度の
NHMでは再現できなかつたと推測できる。



風上の850hPaとsfcの温位差