

寒気流出解析ツールを用いた メソスケール現象の理解

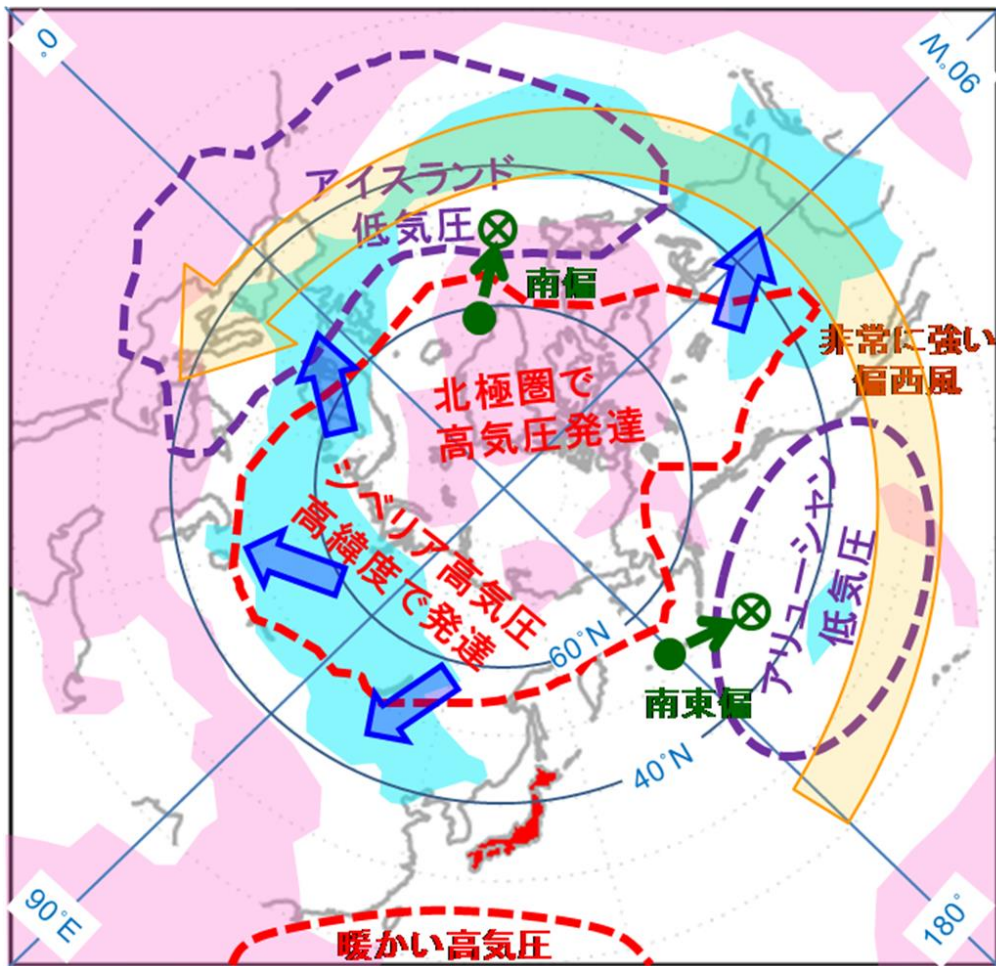
福井真、岩崎俊樹*

東北大学大学院・理学研究科

温位座標に基づく

大循環からメソまで、寒気流出に関する統一的な理解

1. 長野県・山梨県は寒気のダムによって守られている？
2. 2014年2月14日～15日、関東甲信での大雪



寒気の流出

Cold Air Outbreak

極域寒気が中緯度に流れ出る

異常気象検討会資料より
気象庁気候情報課(2010)

寒気流出は間欠的に発生

ゆっくりとした寒気の生成と
短期間の総量の保存
→ 蓄積と放出

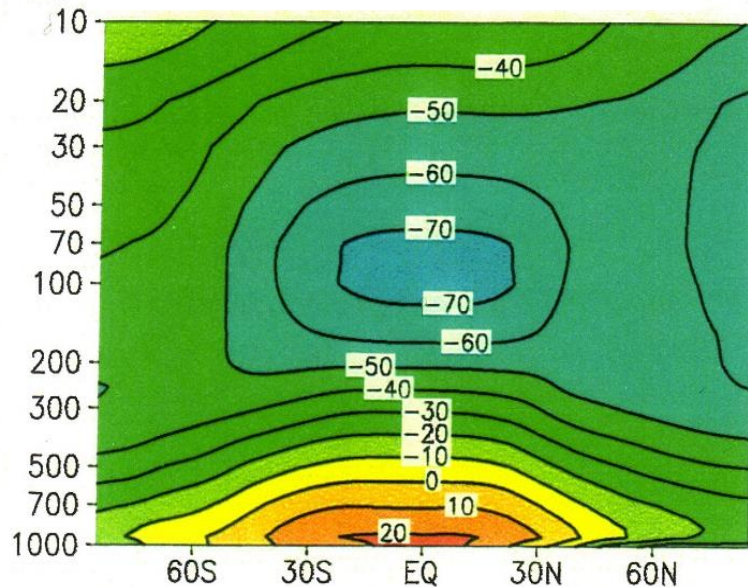
Index Cycle : Namias (1950)

東西指数(中緯度の東西風と中層の平均的な南北気圧傾度)

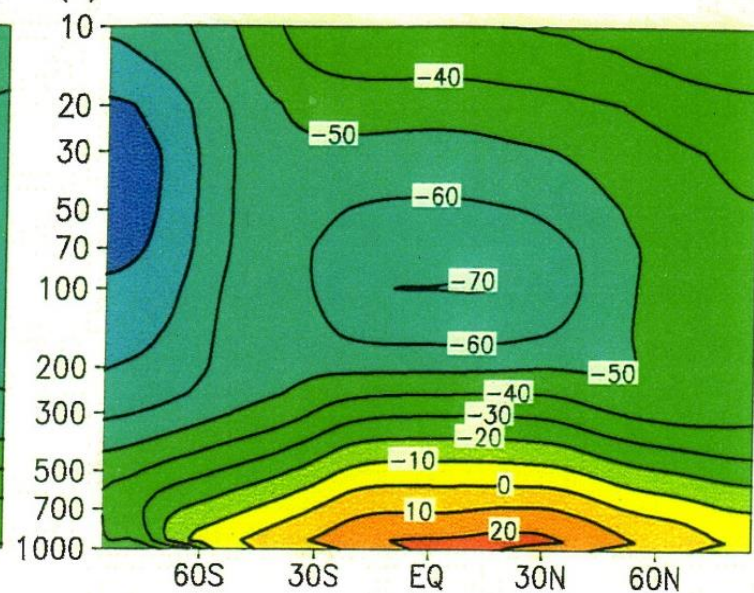
寒気のしきい値に気温を使うことのデメリット

1. 上空の低温と地上の寒気と関係は間接的。特に、熱帯圏界面付近の低温は地上の寒気とほとんど関係しない。
2. 断熱冷却や断熱昇温のため保存性も追跡性も悪い。

(a) 12月～2月の平均気温



(b) 6月～8月の平均気温



寒気解析では気温 T ではなく温位 $T(p_0/p)^{\kappa}$ を用いる。

寒気のしきい値に温位を使うことのメリット

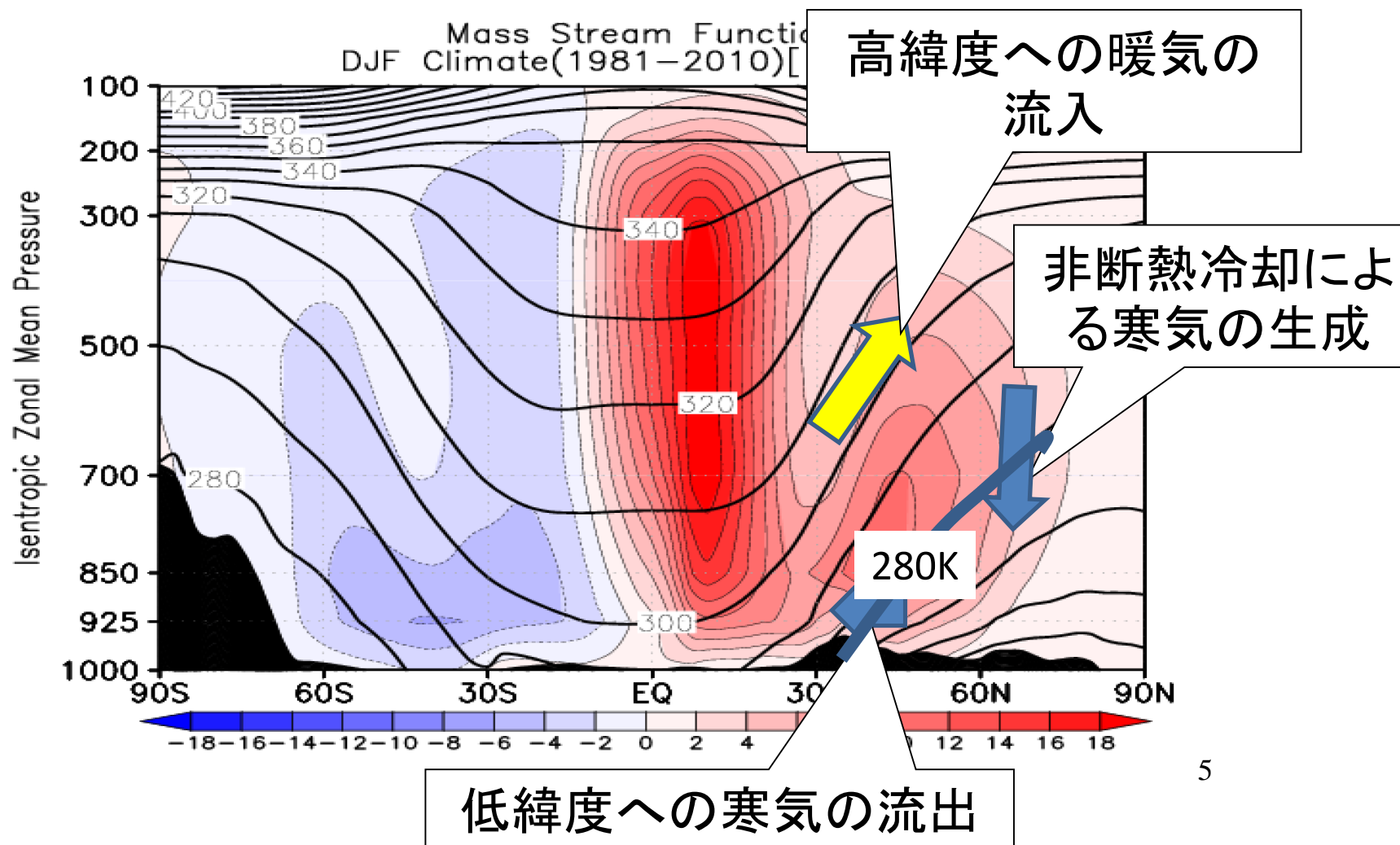
1. 寒気の総量が断熱保存量となり、「蓄積」と「放出」という概念と相性が良い。(断熱昇温や断熱冷却には影響されない)
2. 断熱保存量なので追跡性が良い。(気塊の温位は断熱過程では変化しない)
3. 安定成層では温位は高度とともに増加するので、高緯度下層に局在する寒気を特定することができる。

寒気のしきい値に温位を使うことのデメリット

1. 人が直接感ずるものは温度であり温位ではない！

質量流線関数と温位分布

Mass-weighted Isentropic Zonal Mean (MIM)



寒気流出解析ツール

特定温位面 (θ_T) 以下の寒気質量の保存則

$$\frac{\partial}{\partial t} DP + \nabla \cdot \mathbf{H} - G(\theta_T) = 0$$

$$DP \equiv p_s - p(\theta_T) \quad \text{寒気質量}$$

$$\mathbf{H} \equiv \int_{p(\phi, \lambda, \theta_T)}^{p_s(\phi, \lambda)} \mathbf{v} dp \quad \text{寒気質量フラックス}$$

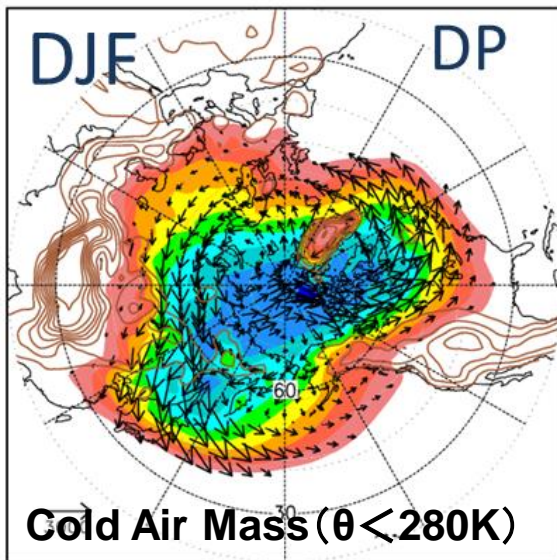
$$G(\theta_T) \equiv \left. \frac{\partial p}{\partial \theta} \dot{\theta} \right|_{\theta_T} \quad \text{寒気質量の生成・消滅}$$

特定温位面以下の全寒気質量は断熱不変量

特定温位(280K)面の寒気質量解析

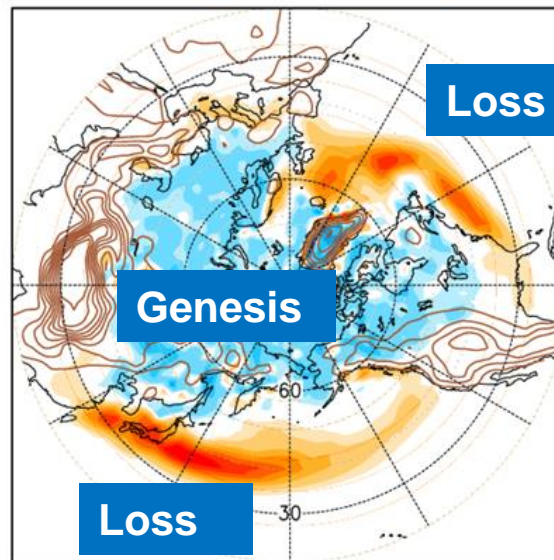
寒気質量 (hPa)

Polar cold air mass & flux



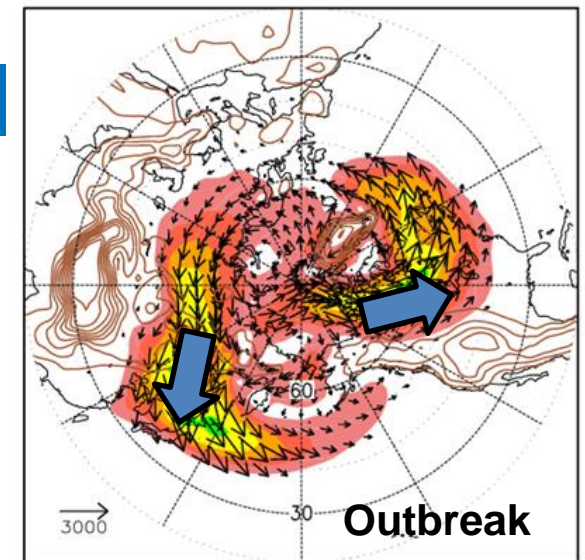
生成消滅 (hPa/day)

Diabatic generation/loss



寒気質量Flux

Polar cold air mass stream



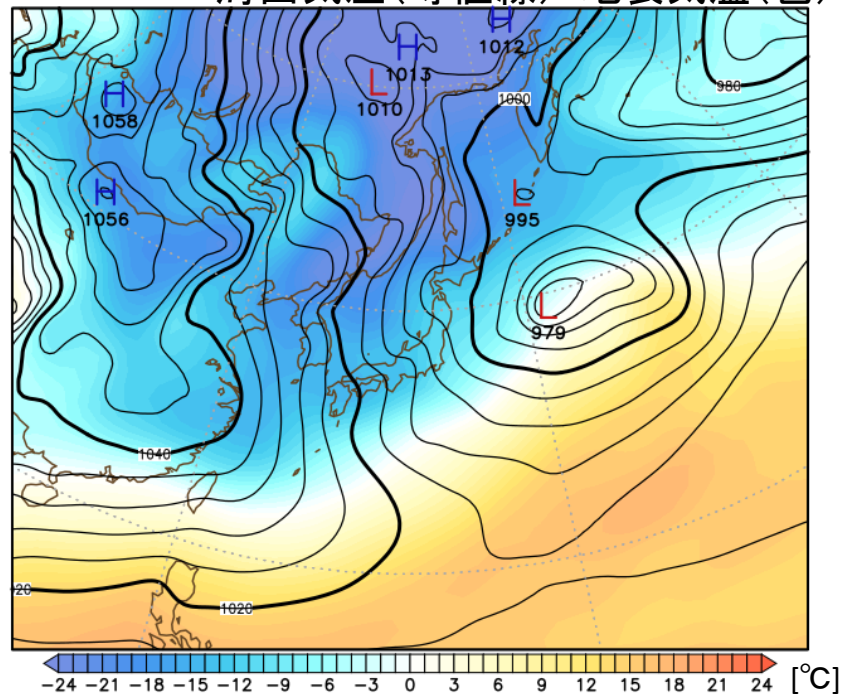
東アジアと北米東海岸はコールドサージの2大発生地域

1. -2016年1月の記録的大寒波 山口純平-

2016年1月23日から25日にかけて冬型の気圧配置が強まった影響で日本をはじめ、東アジアの各国に強い寒気が流れ込んだ。

- 沖縄本島で初のみぞれを観測
- 奄美大島で115年ぶりの降雪
- 島根県邑南町で過去最多の102cmの降雪
- 台北市で43年ぶりとなる最低気温4°Cを観測
- 香港では59年ぶりの寒さとなる3.1°Cを記録

図1. 2016年1月24日の天気図
海面気圧(等値線)・地表気温(色)

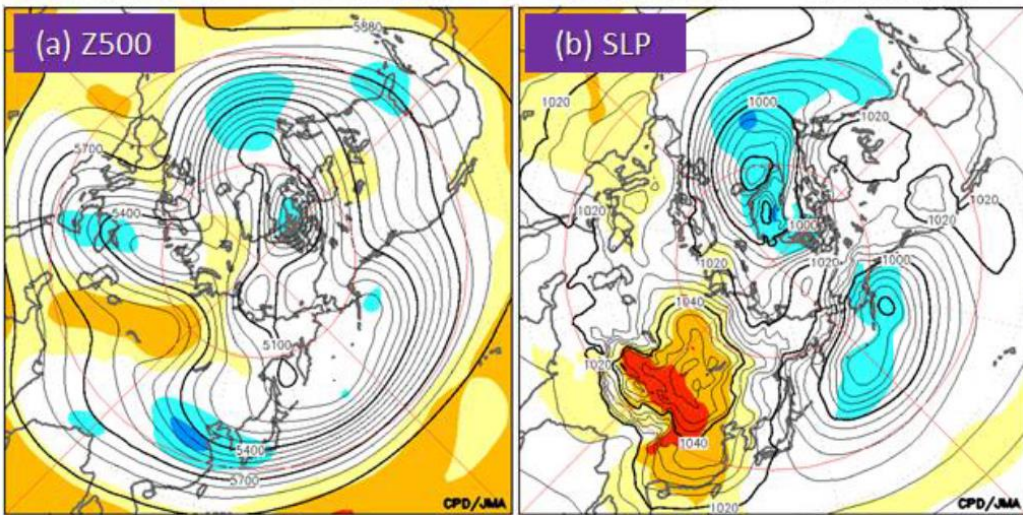


- 西シベリアにわたる正の500hPa アノマリーが増幅
- 東アジアには深いトラフが発達
- 正負のアノマリーの間でシベリア高気圧が発達

この気圧配置はTakaya, Nakamura (2005) (以下 TN05)の指摘したシベリア高気圧の増幅する気圧配置



東アジアの広い範囲での寒波と低温

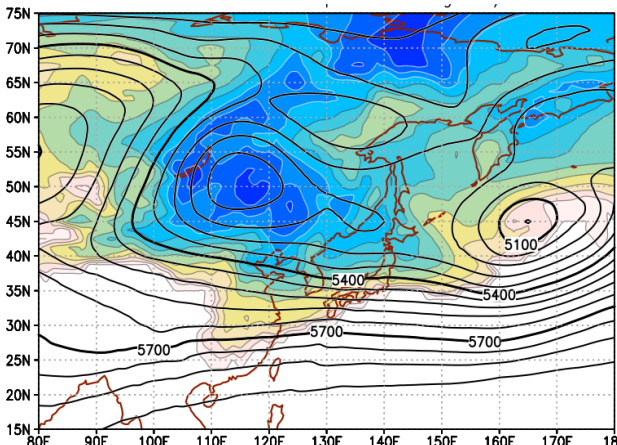


平年より低 -3 -2 -1 1 2 3 平年より高 σ

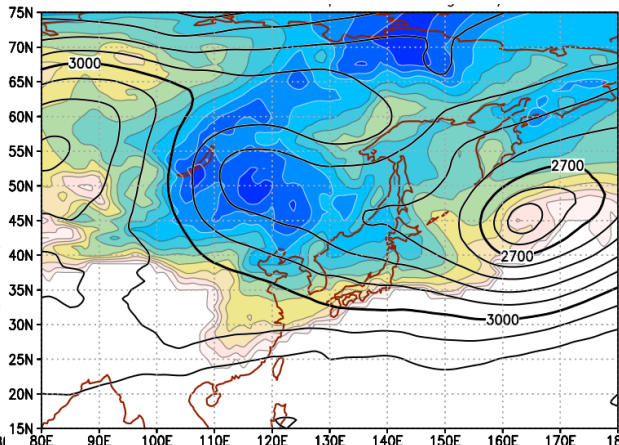
図2. 2016年1月21~25日の500hPa高度・地上気圧 Oikawa et. al. (2016)

付録1. 寒気質量・特定等圧面高度・鉛直断面 (1/21 12:00UTC)

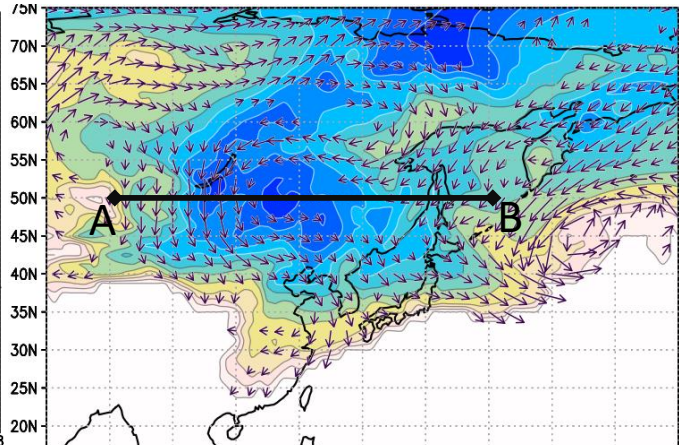
500hPa高度



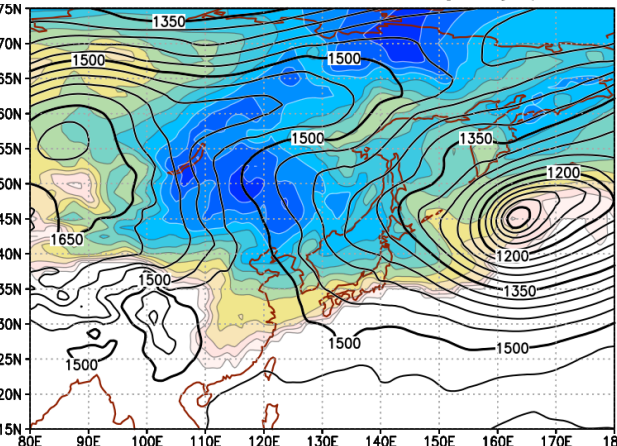
700hPa高度



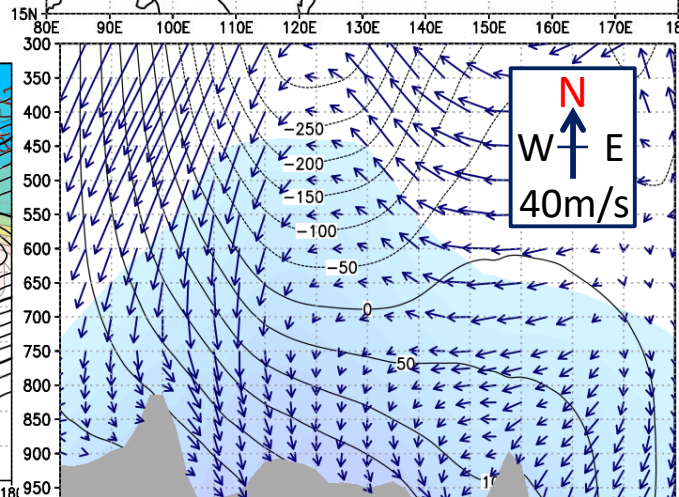
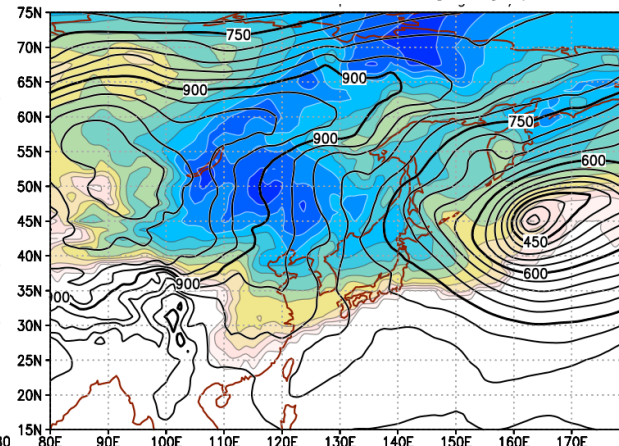
寒気平均速度



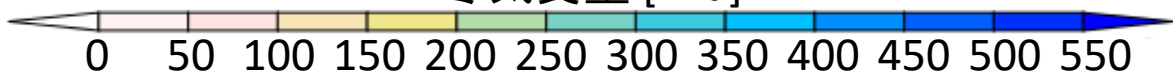
850hPa高度



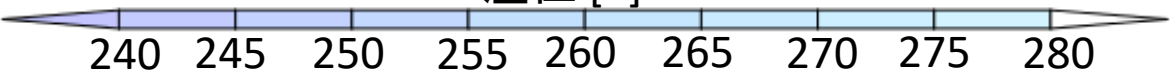
925hPa高度



寒気質量 [hPa]



温位 [K]



平均速度が西側で南向きに強く、東側で弱くなっている

上図A-Bに沿った鉛直断面
面図(温位・高度偏差・風)

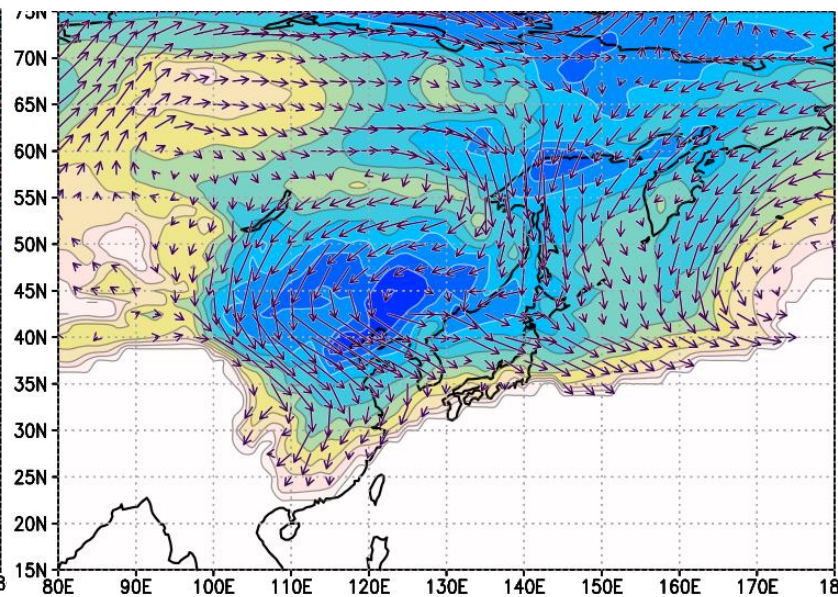
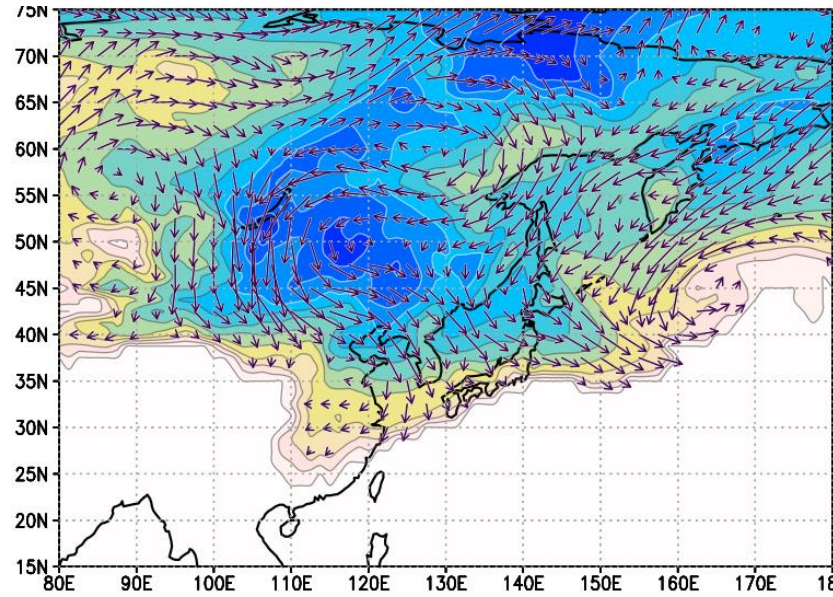
* 枠線内は風ベクトル凡例

下層(1000-850hPa)では北風が卓越、中層では西側で強い北風、東側で弱い南風
寒気の南進が生じる

寒気質量・寒気質量フラックス

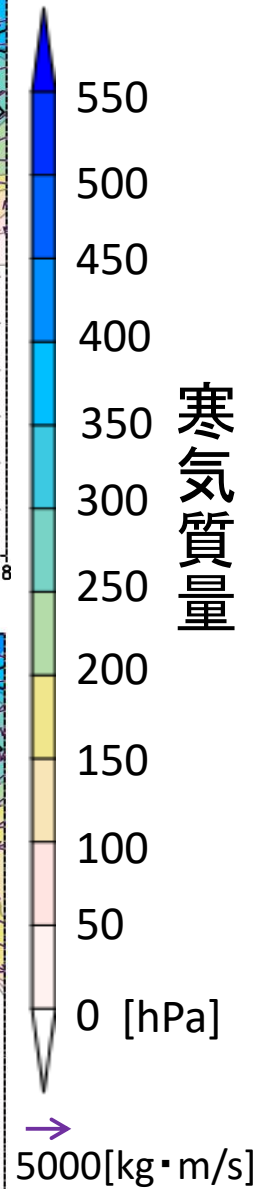
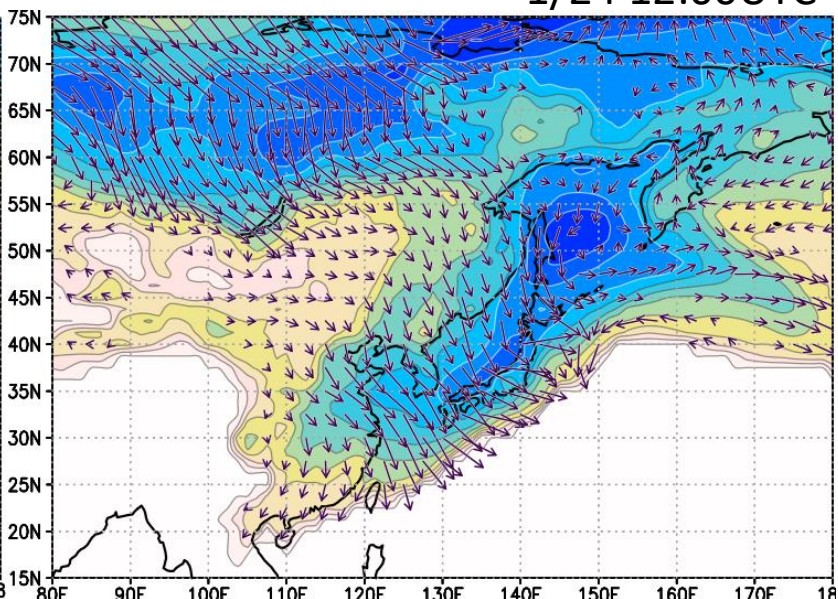
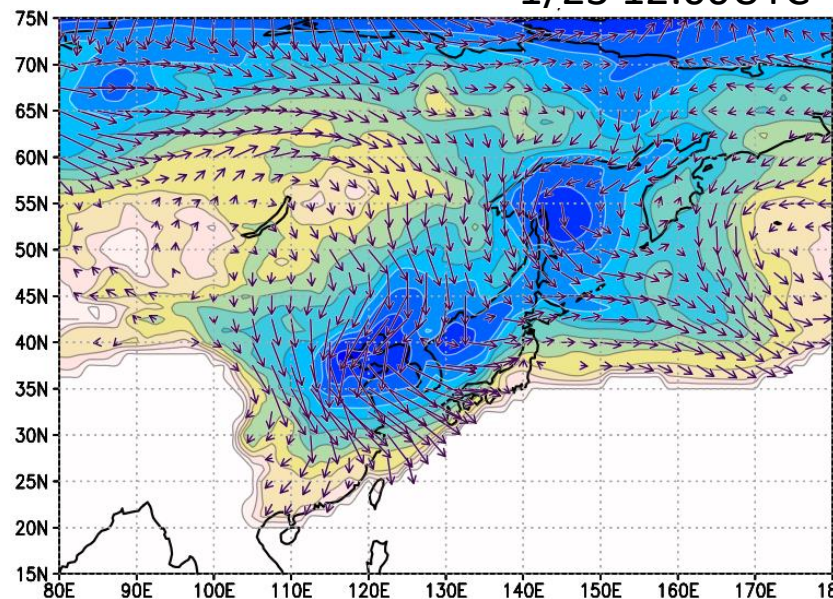
1/21 12:00UTC

1/22 12:00UTC



1/23 12:00UTC

1/24 12:00UTC



いくつかの特徴

1. 寒気は重いのでチベットなどの高い山岳を避けて流れる。
2. 寒気の流出は間欠的に発生する。
3. 寒気軸はほぼ500hPaの寒冷渦の位置とほぼ一致する。
4. 季節風(寒気流出)時、寒冷渦はシベリア高気圧と移動性の低気圧の間に位置している。
5. 下層の寒気は地上気圧に支配され、上空の寒気は寒冷渦を周回する。寒気質量フラックスは寒冷渦の西側で南下が著しい。

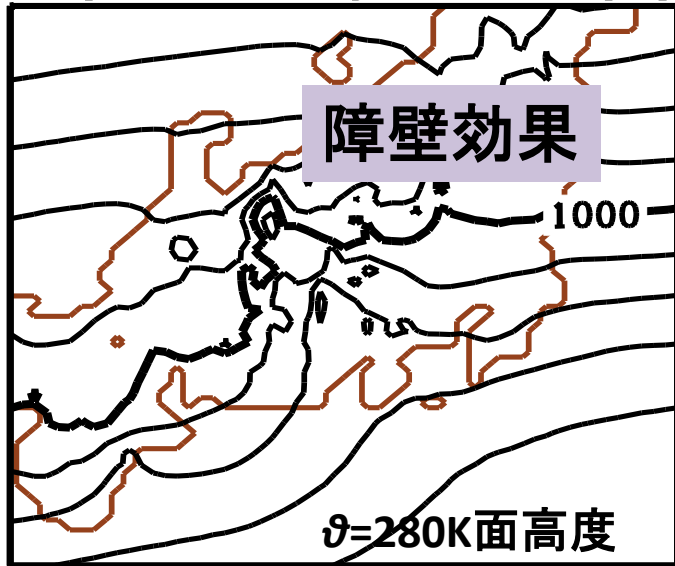
長野県・山梨県は寒気の手岳によって守られている？

- ✓ 寒気がどこを流れているか
= 寒気質量(フラックス)の分布
- ✓ どこで寒気が変質しているか
= 寒気容量消滅域の分布
- ✓ 寒気流出は日本に何を起こすか

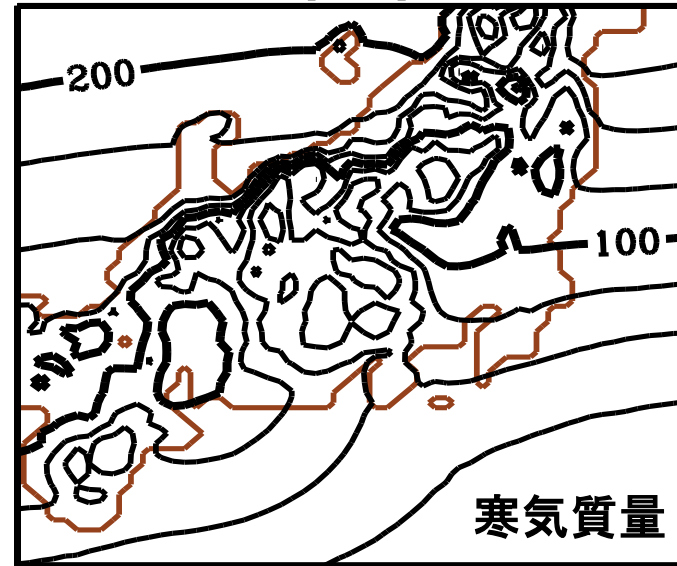
- 気象庁メソ解析 (解像度10km)
- 期間: 2009/10 – 2014/15のDJF(6冬季)
- 閾値: 280Kの寒気質量、寒気容量

中部地方の寒気分布の気候値に見える障壁効果

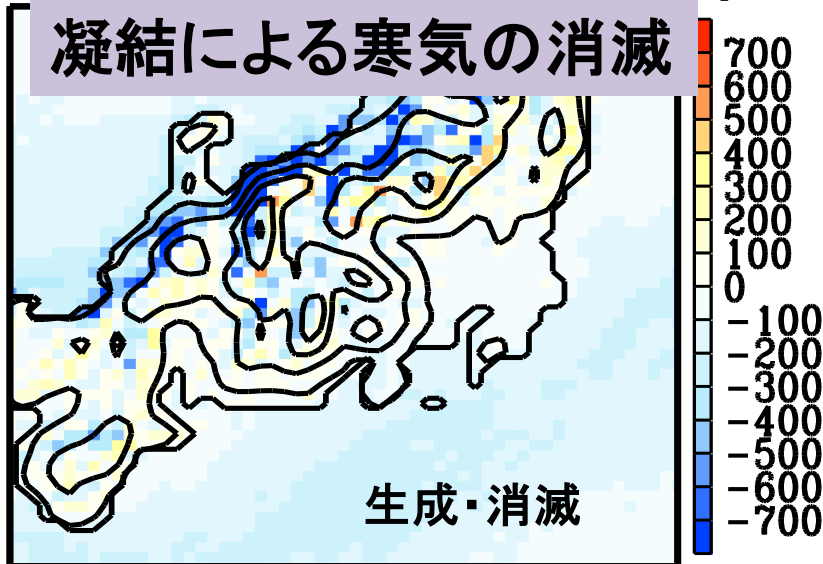
Geopotential height @ 280K [m]



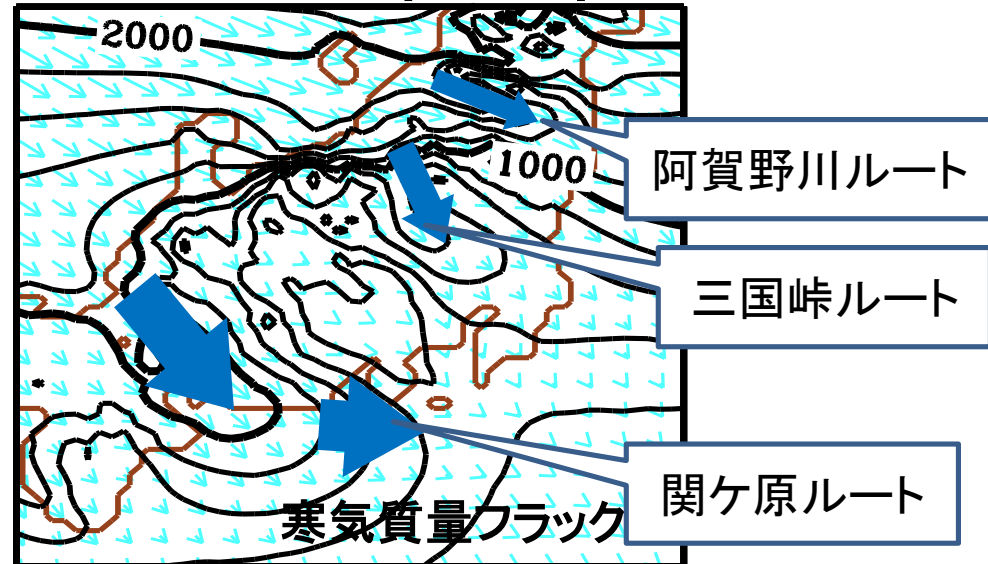
Cold airmass [hPa]



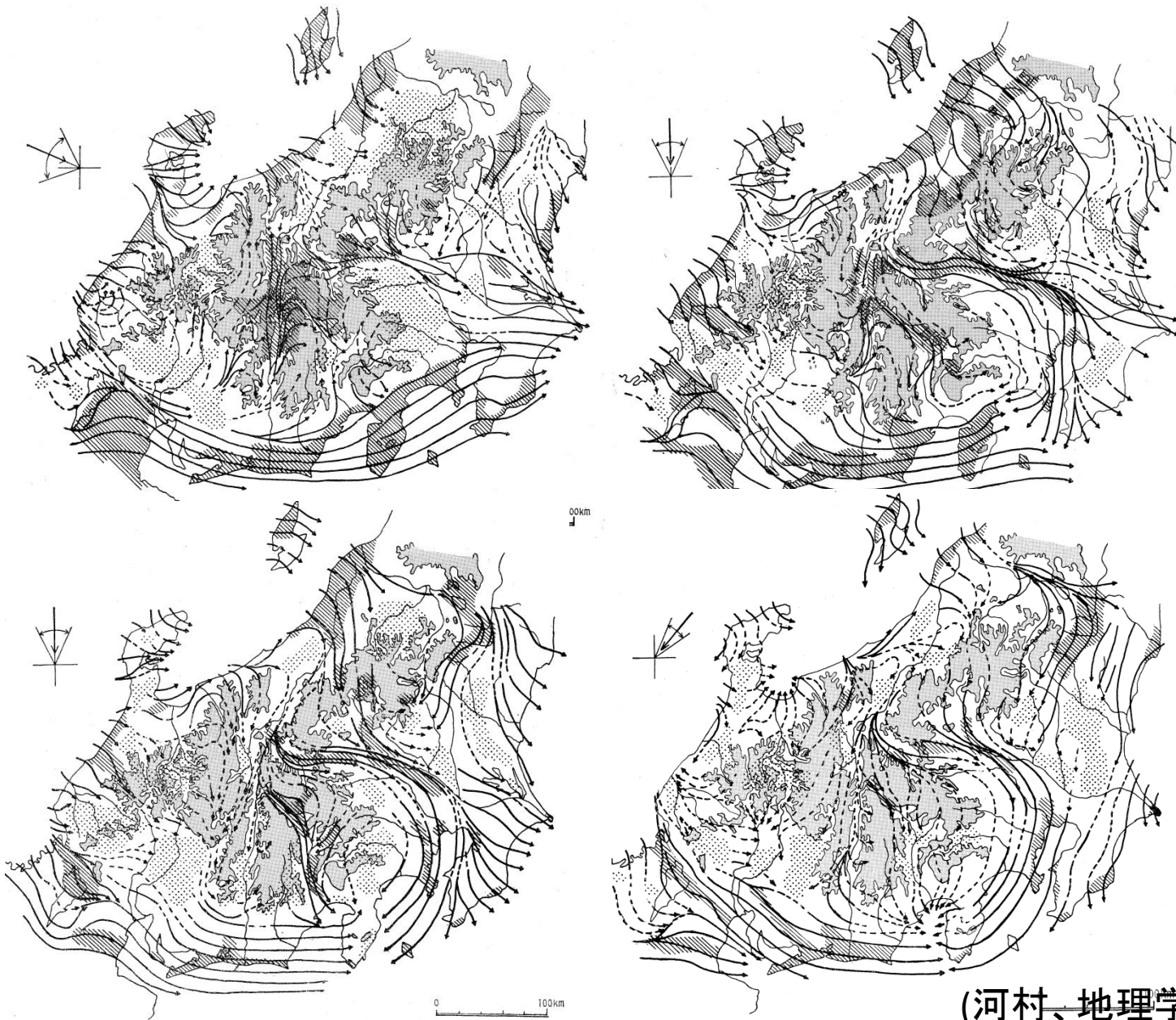
Cold airmass generation [hPaday⁻¹]



Cold airmass flux [hPams⁻¹]



中部日本における冬の地上風系



(河村、地理学評論、1966)

長野県・山梨県

周囲を高い山岳に囲まれているために
寒気に対する障壁効果が明瞭であり
“平均的には”寒気の流入が阻止されている。
大寒波時は越流するか？

関東地方

北西側はガードされている、
(三国峠と阿賀野川が寒気流入経路？)
南岸低気圧の時は北東側より寒気が入る。

3. 2014年2月14日～15日、関東甲信での大雪

2014年2月14日～15日にかけて低気圧の接近により関東甲信地方を中心に雪が降り続き、記録的な大雪となった。

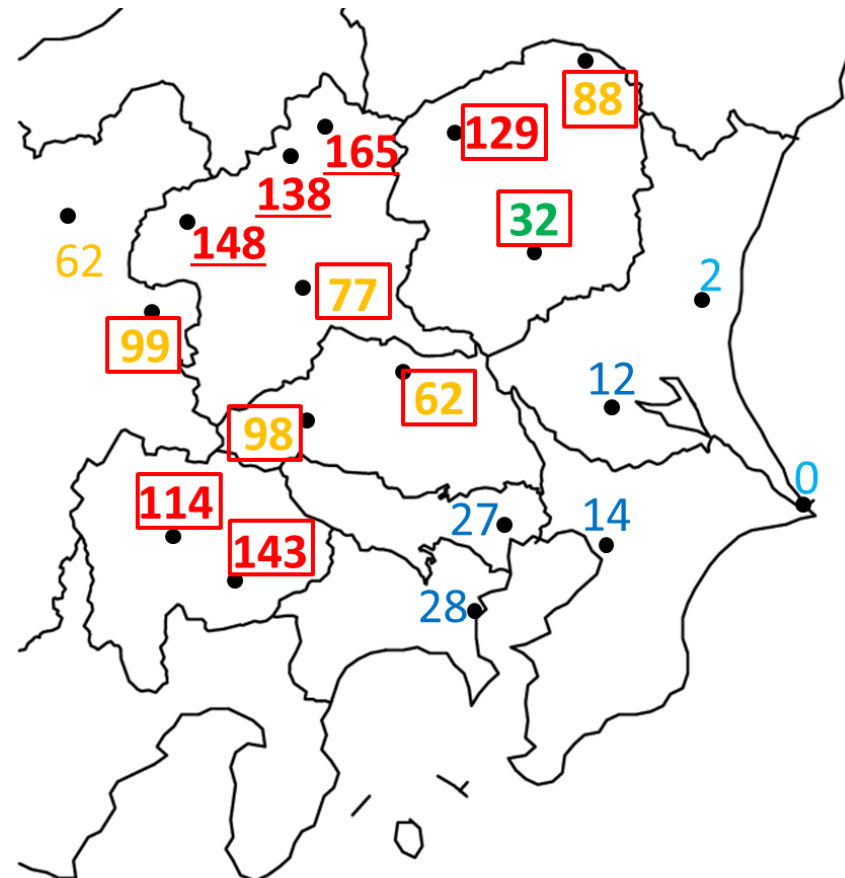
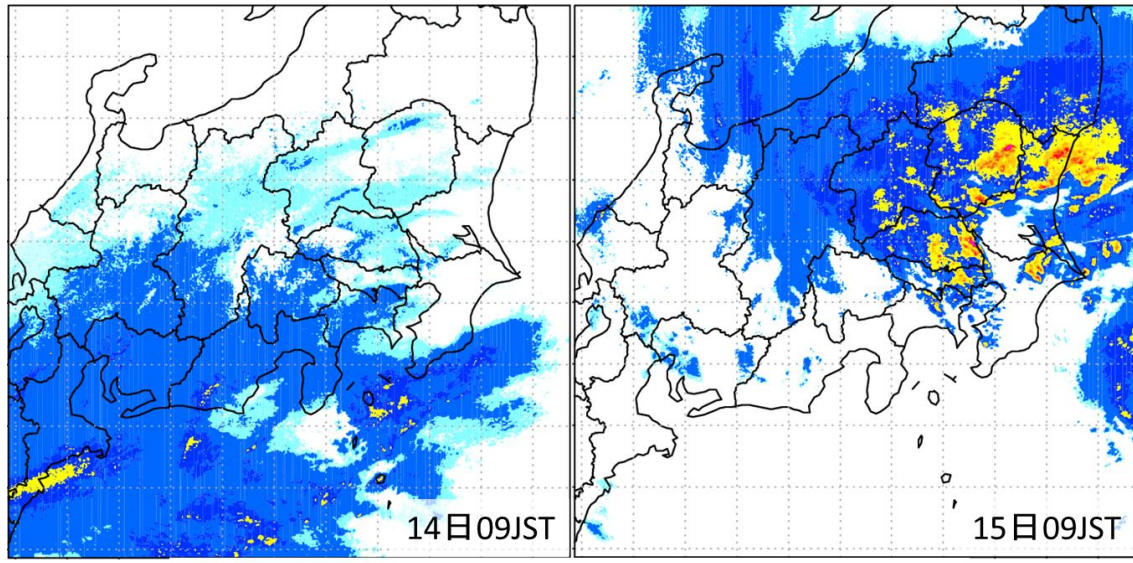
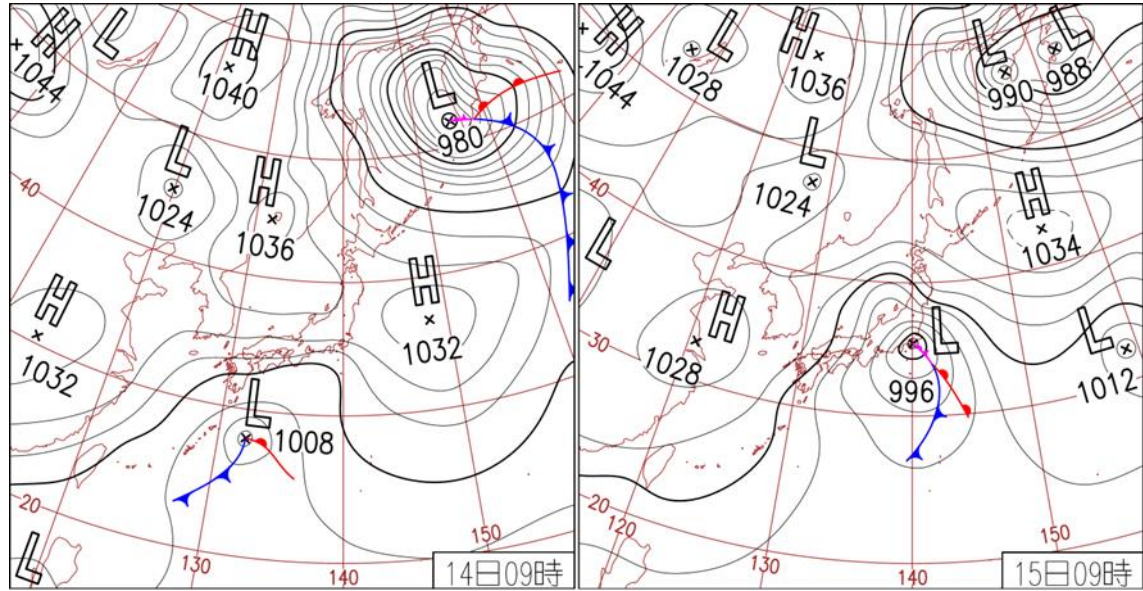


図1: 14日00JSTから15日24JSTまでのアメダス観測による最深積雪(cm) (赤枠の地点は観測史上最大、下線はこの当時観測史上最大)

関東での降雪

- 南岸低気圧の通過時が多い
- 大雪となる目安は低気圧が八丈島付近を通過したときと言われてきた
- 北西の山岳地域からの冷氣塊の移動(牧野2014)や、降水粒子の蒸発による冷却(富山2001)が滞留寒気を形成

NHM(2km)による再現実験 → 寒気流出解析 (田ノ下潤一)



寒気質量

NHM(2km)による再現実験

ダム効果により
大量の寒気が滞留

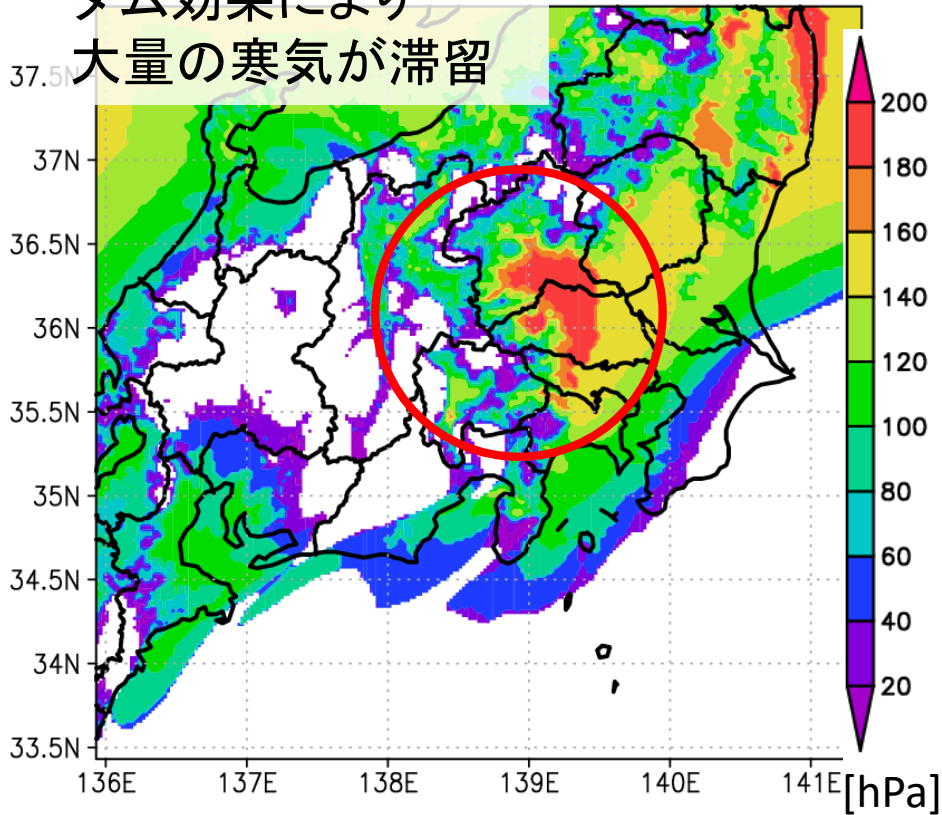


図7:寒気質量(14日23時JST)

北東からの寒気流入

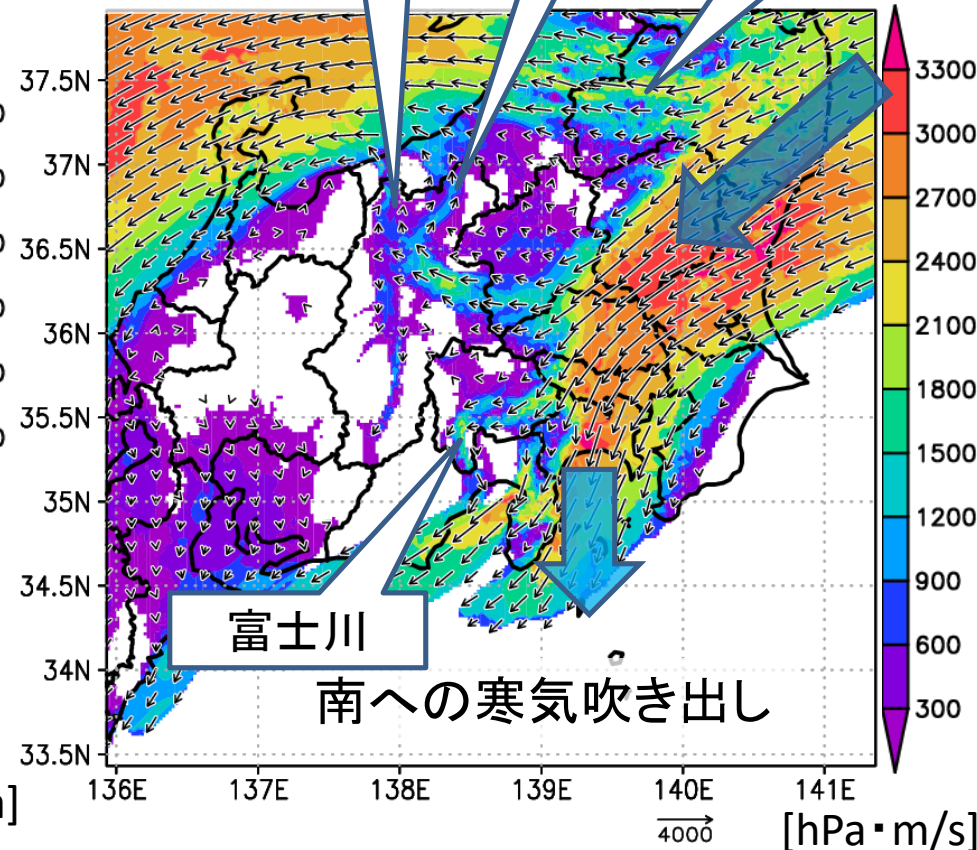


図8:寒気質量フラックス(14日23時JST)

- ・関東地方西側の内陸部や甲府盆地に大量の寒気が滞留している
- ・寒気は関東の北東側から流入している

寒気はどこから?

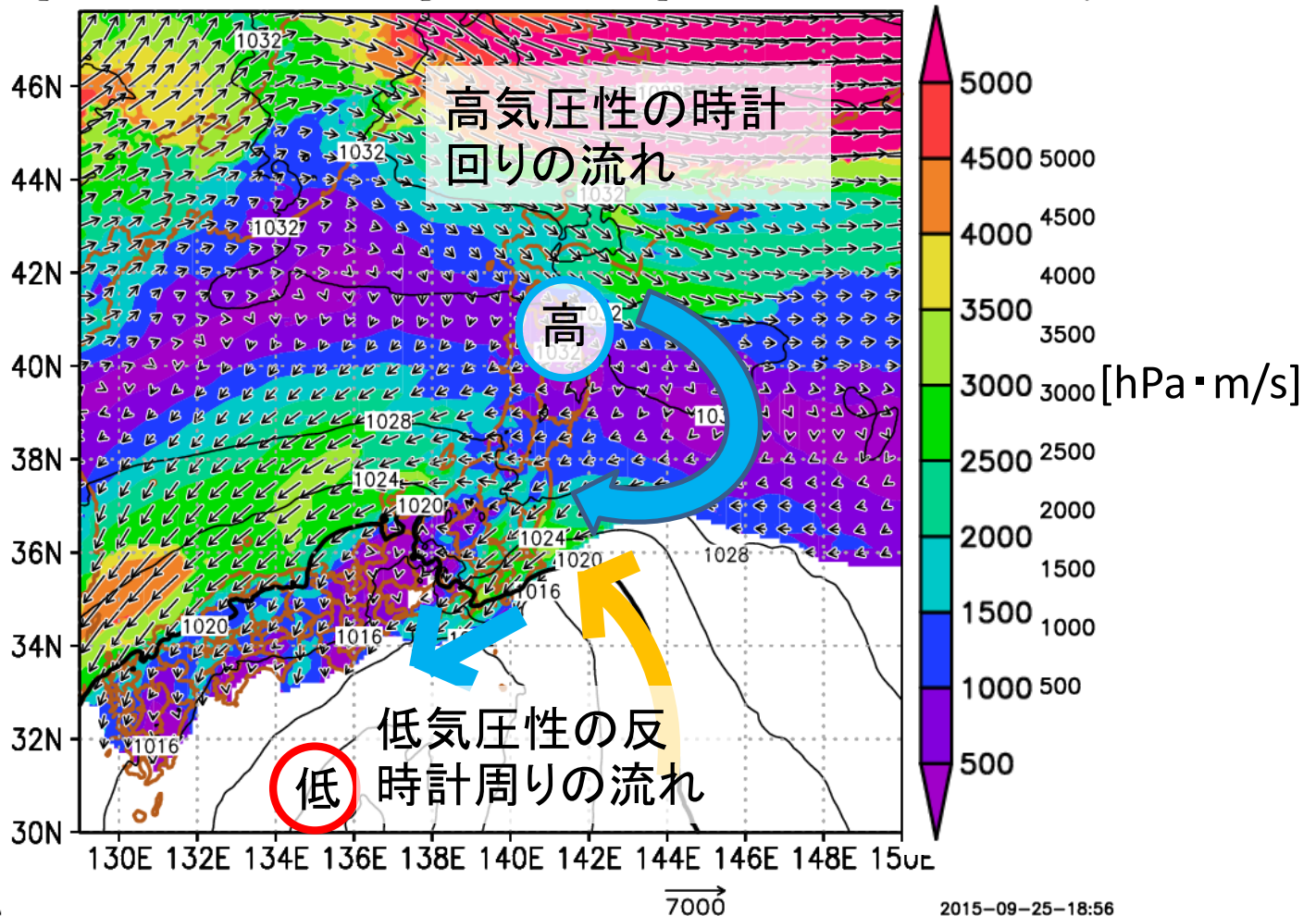


図12:14日21時の海水面気圧と寒気質量フラックス(MSM解析値より)

北日本付近に存在した高気圧のふちを回るように関東へ寒気が流入した。

水蒸気フラックス

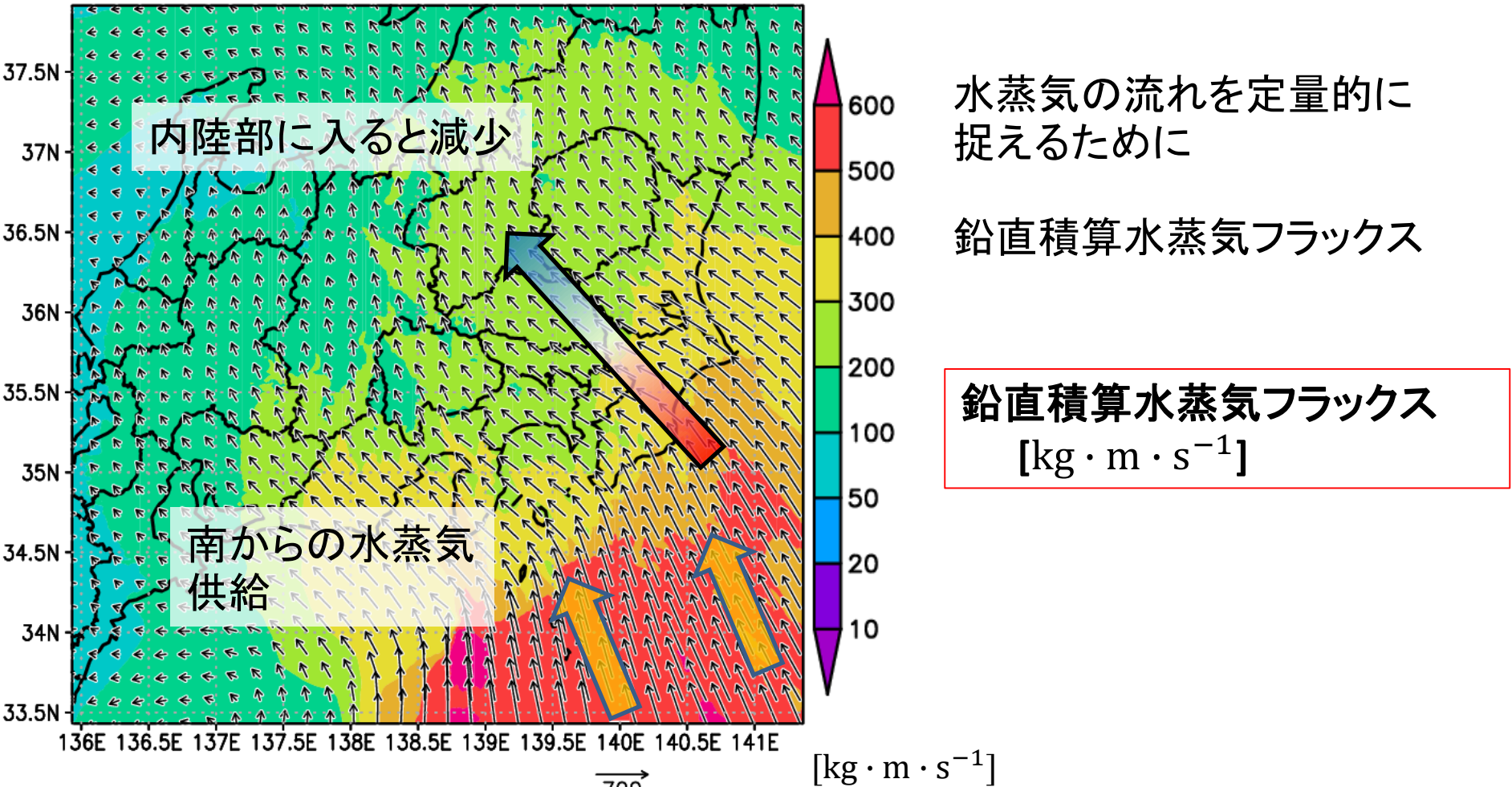
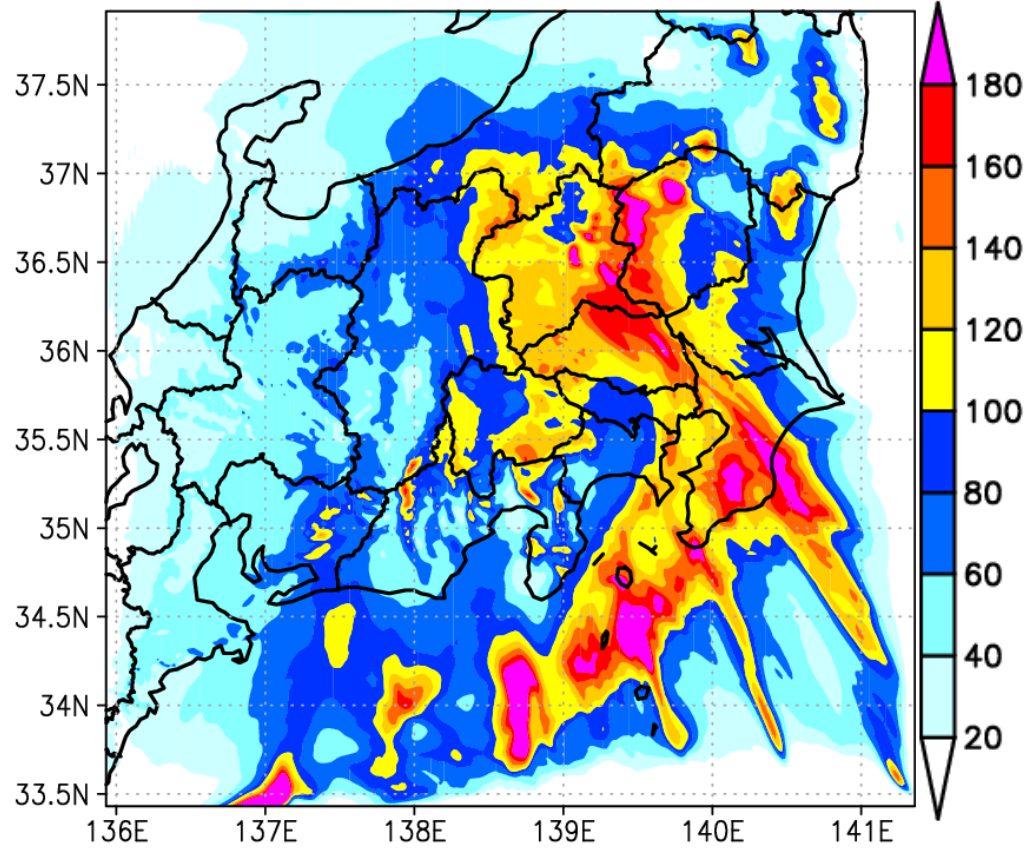
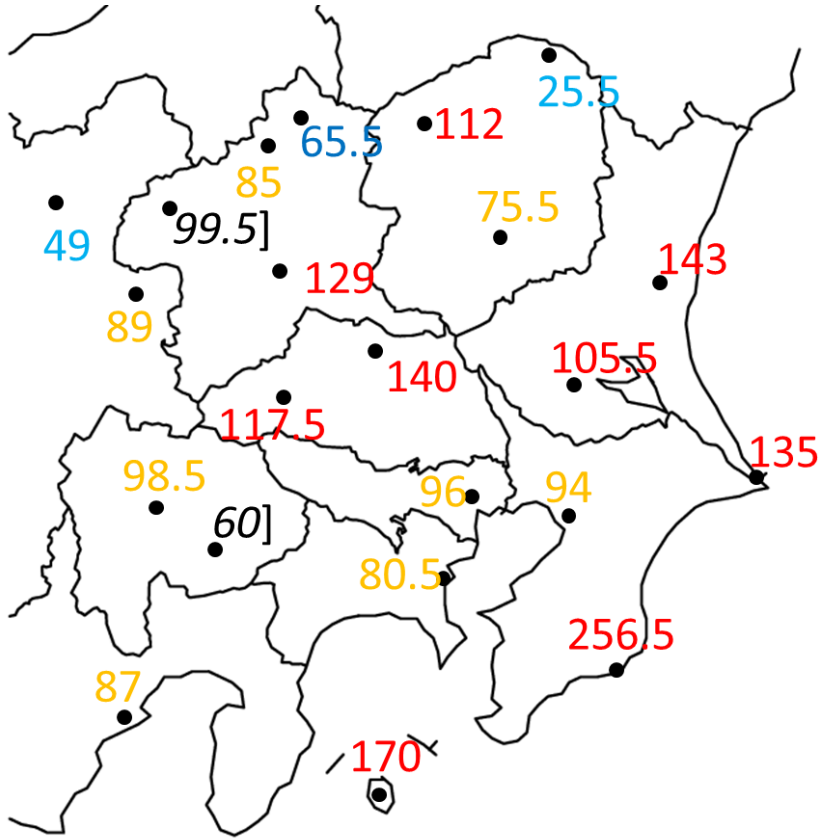


図13:水蒸気フラックスの鉛直積算(14日23時JST)

- ・水蒸気は南から供給されている
- ・内陸部に入るにつれ水蒸気フラックスは減少していく

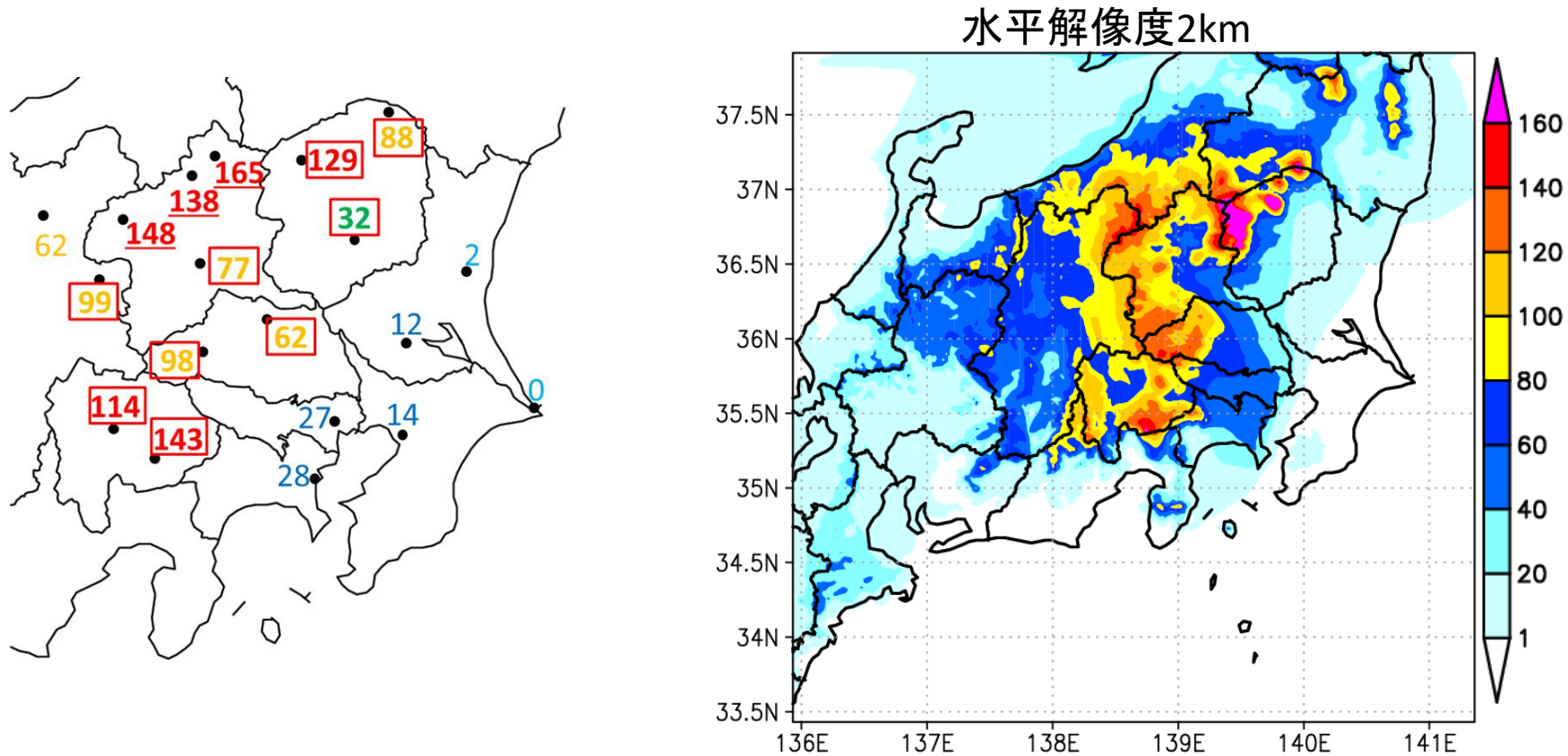
降水量の検証



図A1:アメダス観測による14日00JSTから48時間
降水量(mm)、(黒字の地点は欠測期間あり)

図A2:再現実験による14日00JSTから48時間
降水量(mm)

降雪量の検証

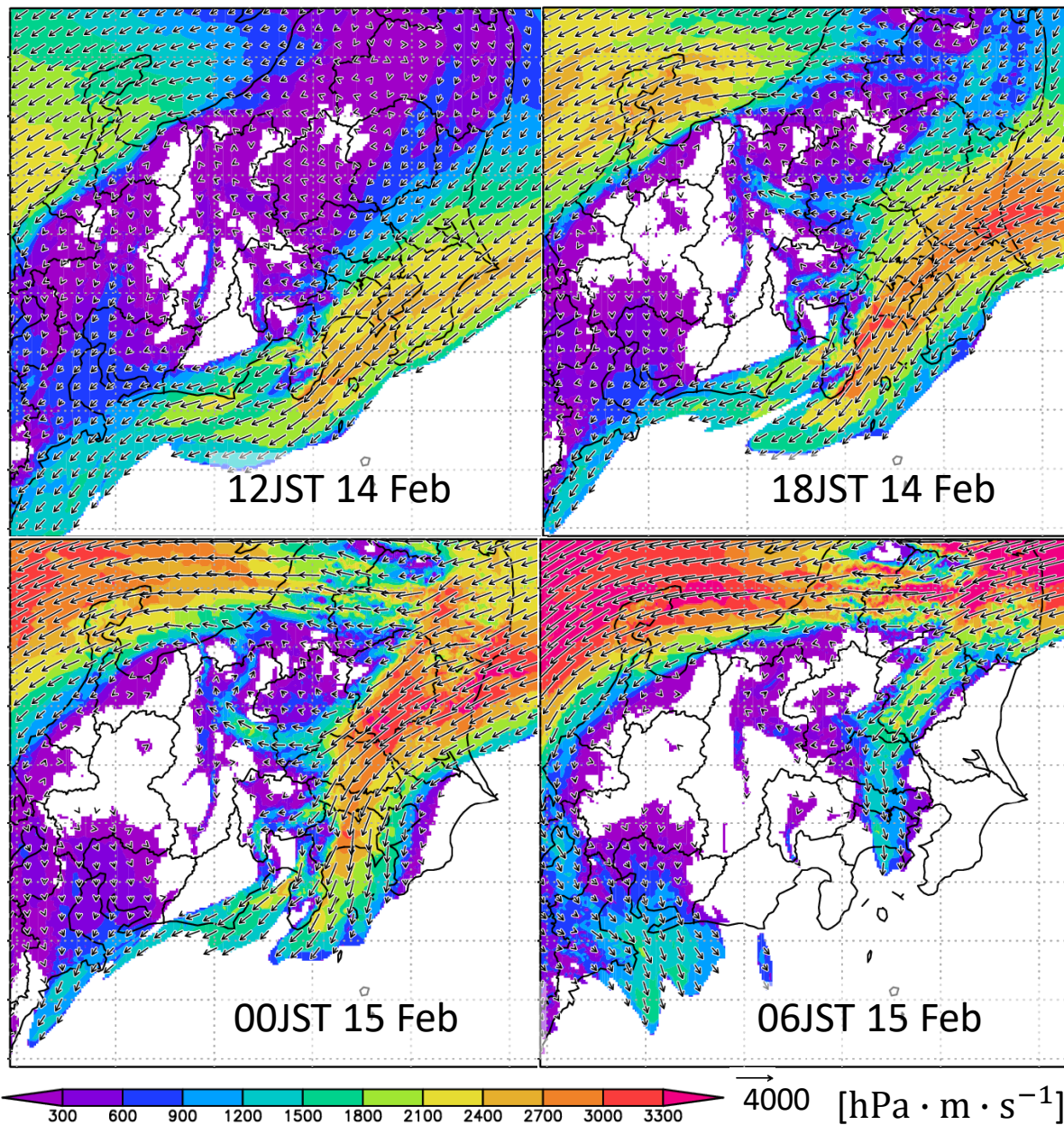


図A:14日00時から15日24時までの48時間降雪量

解像度を2kmとすることで甲府盆地での降雪量増加



寒気流入が適切に再現できたために気温が低下した



14日12JSTから15日06JSTまでの寒気質量フラックスの時間変化(6時間ごと)
 東京では15日00JSTに26cmの積雪となったが03JSTには雨に変わっている。

まとめ

結論

- ・寒気は北西の山岳地帯からではなく、北日本に存在した高気圧の縁を周って関東の北東側から流入していた。
- ・流入した寒気は関東西側の山地に阻まれて滞留した。
- ・滞留した寒気に南から暖かく湿った空気が衝突し乗り上げたことで大量の降雪をもたらした。

今後の課題

陸面過程モデルを用いた積雪量の評価

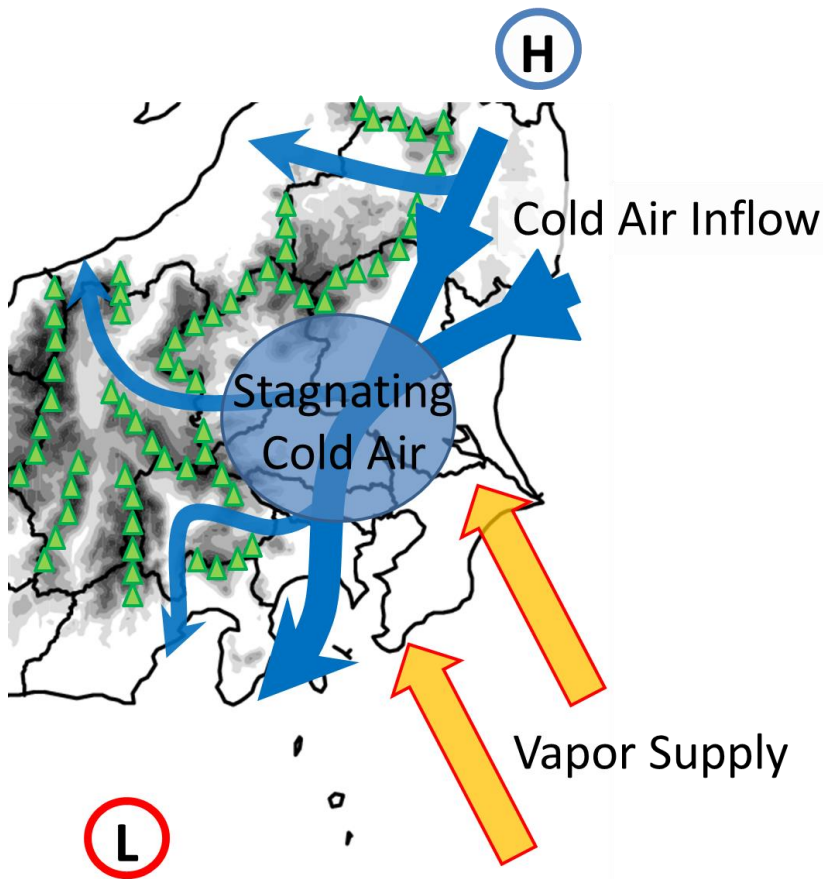


図17: 寒気流入の概念図

特定温位をしきい値とする寒気流出解析は
メソ現象に使っても面白い

