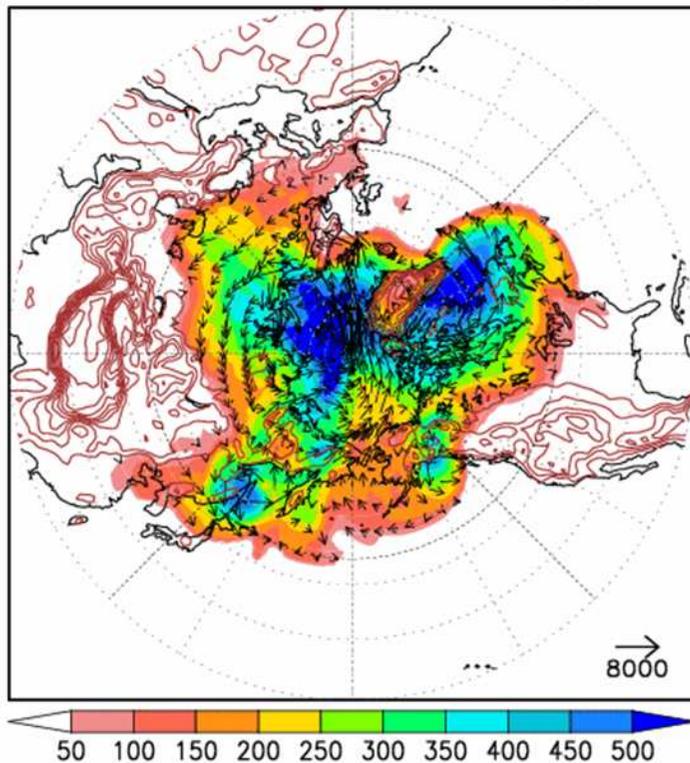


温位をしきい値とする寒気流出解析

岩崎俊樹

東北大学大学院・理学研究科

Cold air mass amount [hPa] and flux [hPa*m/s]
2013.DEC.01.00UTC @PT=280[K]



1. 寒気の定義とグローバルな寒気流出
2. 東アジアの寒気流出
3. 寒気流出に関わるメソスケール現象
4. 寒気流出に対する地球温暖化の影響

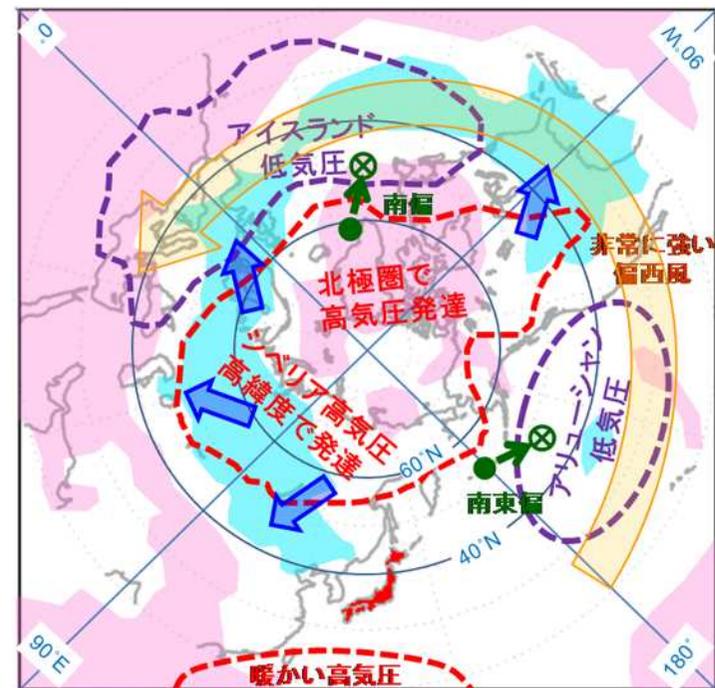
1. 寒気の定義とグローバルな寒気流出

寒気の蓄積と放出

“寒気”は極域で作られ、“寒波”となって中緯度に流出

INDEX CYCLE Namias(1950)

... important problem how and why during each winter the zonal westerlies gradually fall to low strength and subsequently recover---the period of this “index cycle” consuming some four to six weeks.



気象庁気候情報課

問題点

気温は断熱変化するので、“寒気”の定量的解析には不便である

寒気を温位で定義する。
(寒気のしきい値に特定の温位を用いる)

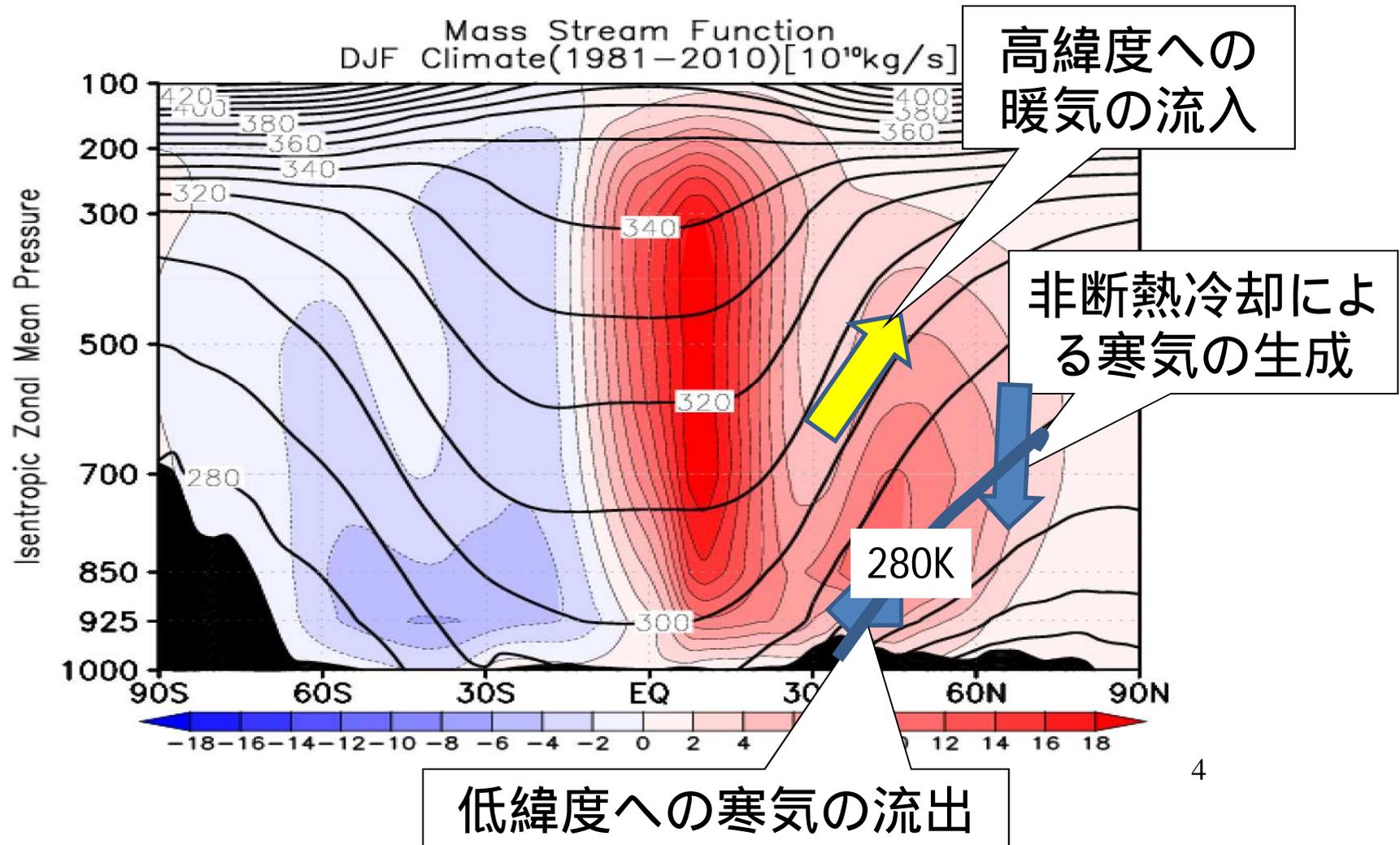
メリット

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. (低い温位の)寒気は高緯度下層に局在し、特定が容易。
3. 断熱保存量なので追跡性が良い。

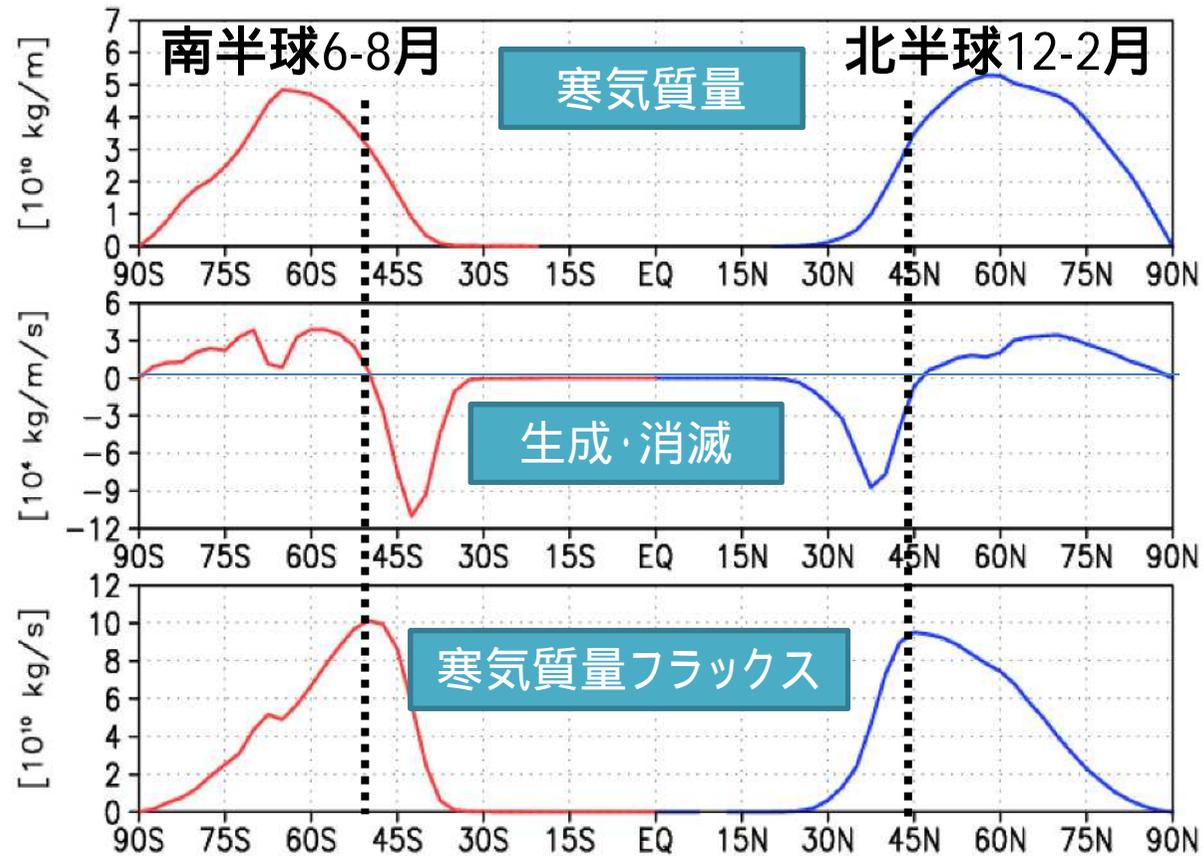
デメリット

1. 人が直接感ずるものは温度であり、温位ではない！

Mass-weighted Isentropic Zonal Mean 質量流線関数と温位分布



寒気質量、生成消滅、赤道向き寒気質量フラックス



| | | | | |
|----------------------|-----|------|-----|-----|
| 寒気質量 (10^{17} kg) | 北半球 | 2.0 | 南半球 | 1.3 |
| 生成・消滅域の境界 | 北半球 | 45N | 南半球 | 50S |
| 生成域での滞留時間 | 北半球 | 24日 | 南半球 | 16日 |
| 消滅域での寿命 | | 2~3日 | | |

地理的な寒気流出ルートを調べる解析ツール

特定温位面 (θ_T) 以下の寒気質量の保存則

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

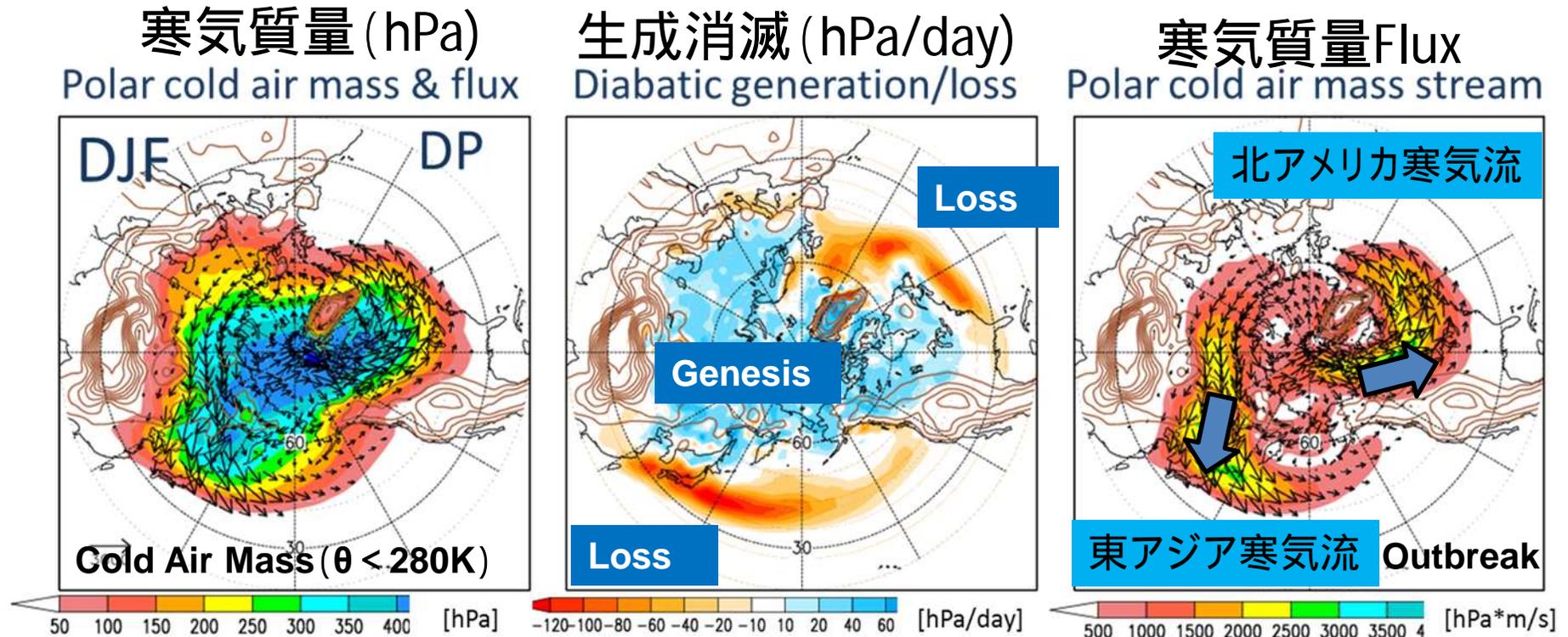
$$DP \equiv p_s - p(\theta_T) \quad \text{寒気質量(層厚)}$$

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

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

特定温位面以下の全寒気質量は断熱不変量

温位 (280K)以下の寒気質量の気候特性

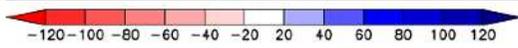
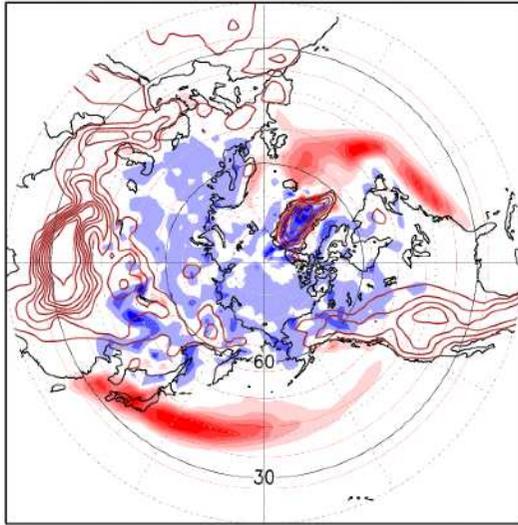


寒気は山岳を迂回して低いところを流れる。

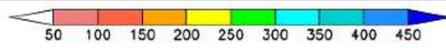
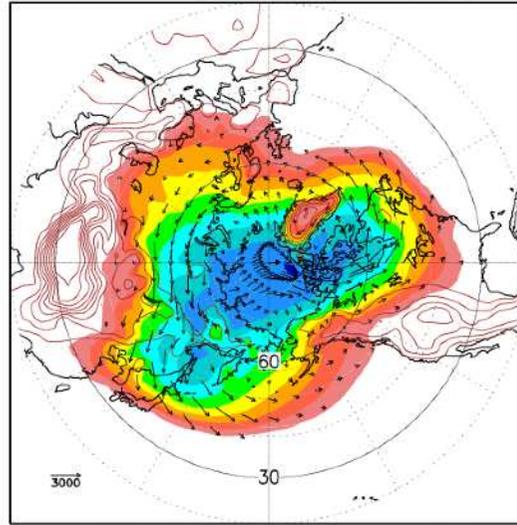
寒気は大陸及び海氷上で生成され、ストームトラック周辺で消滅。

東アジアと北米東海岸はコールドサーージの2大発生地域

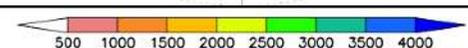
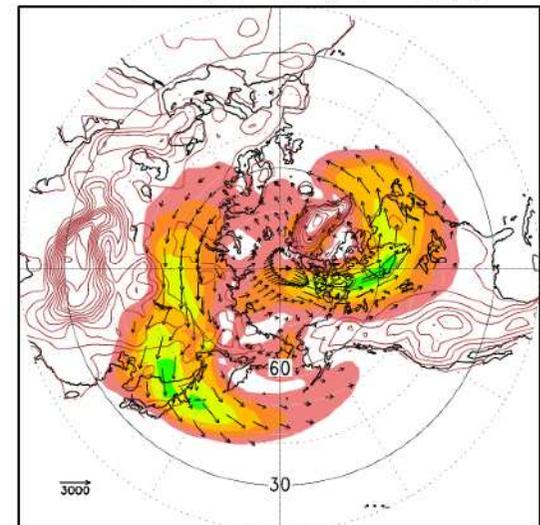
Cold air mass genesis/loss [hPa/day]
DJF Climate(1981-2010) @PT=280[K]



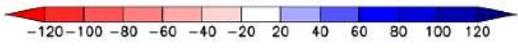
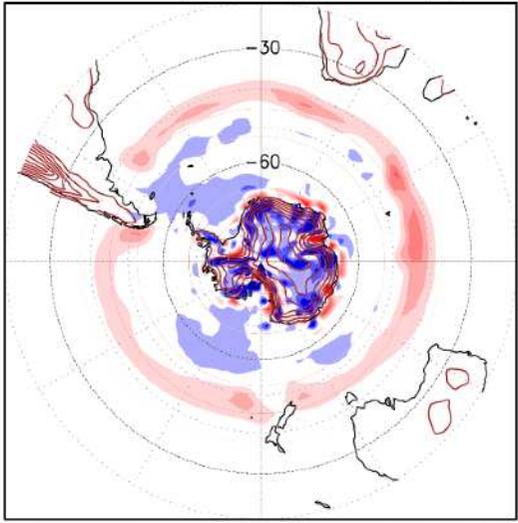
Cold air mass[hPa] & Cold air mass flux[hPa*m/s]
DJF Climate (1981-2010) @PT=280[K]



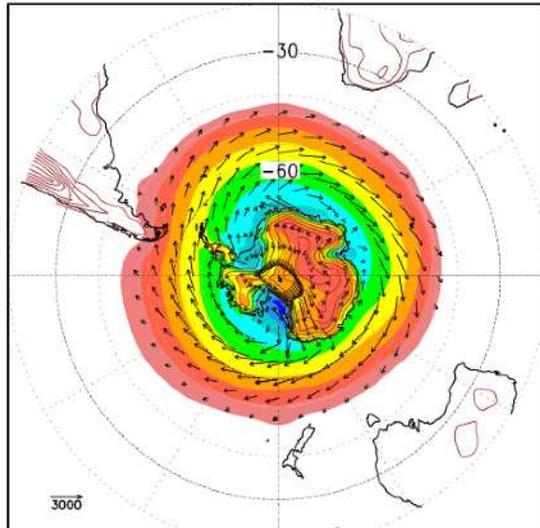
Cold air mass flux intensity[hPa*m/s]
DJF Climate(1981-2010) @PT=280[K]



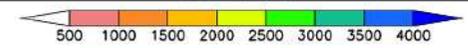
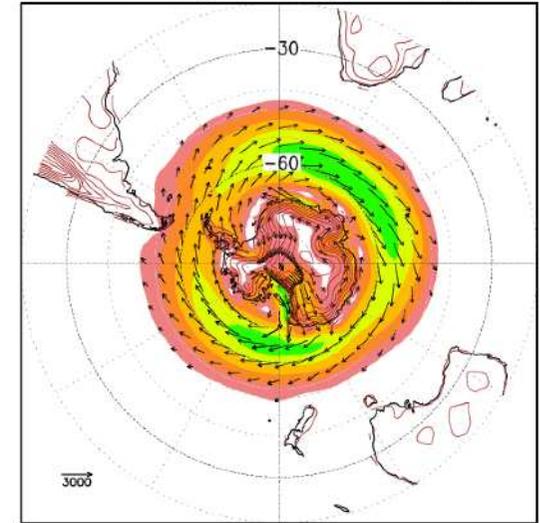
Cold air mass genesis/loss [hPa/day]
JJA Climate(1981-2010) @PT=280[K]



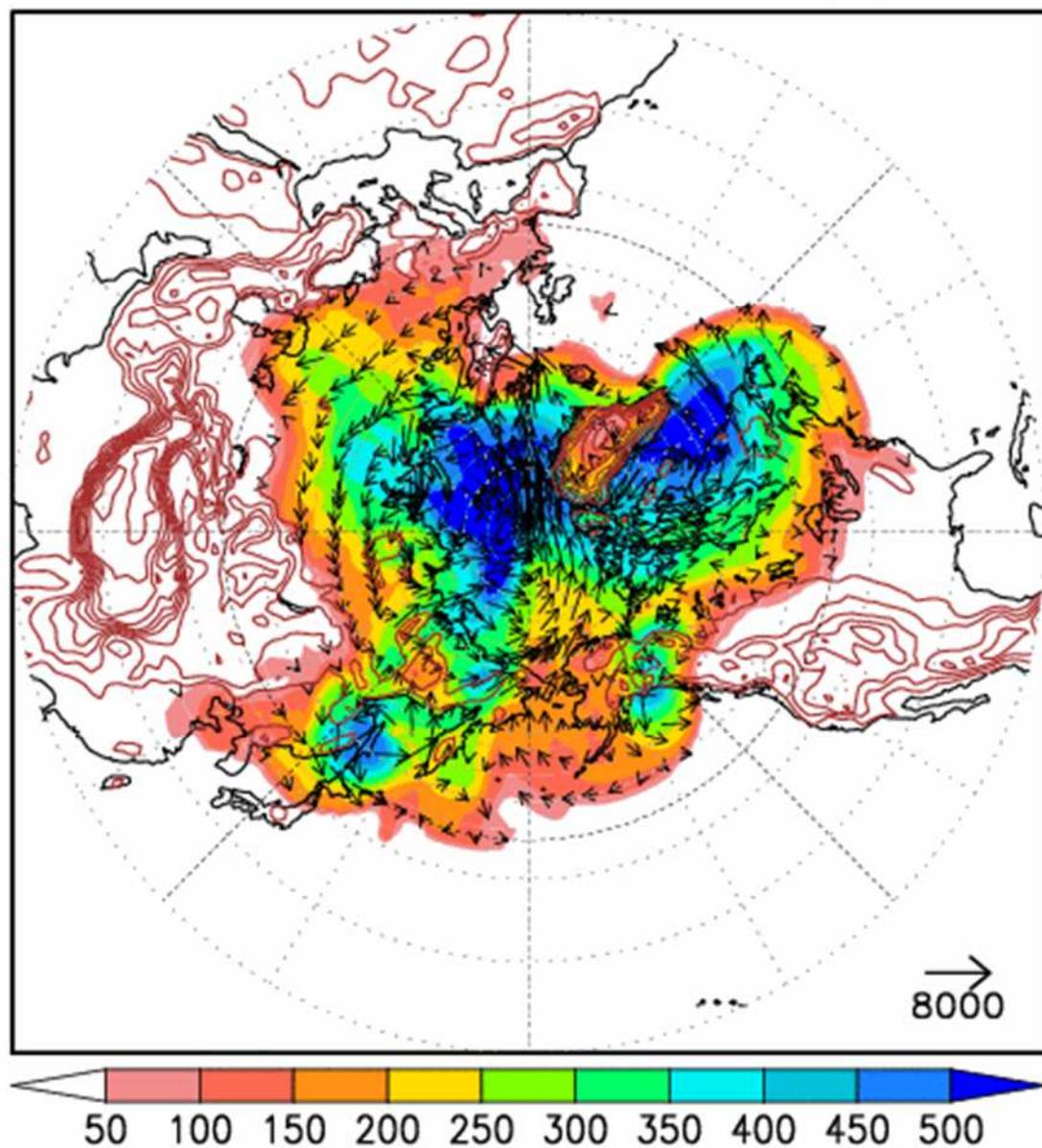
Cold air mass[hPa] & Cold air mass flux[hPa*m/s]
JJA Climate (1981-2010) @PT=280[K]



Cold air mass flux intensity[hPa*m/s]
JJA Climate(1981-2010) @PT=280[K]

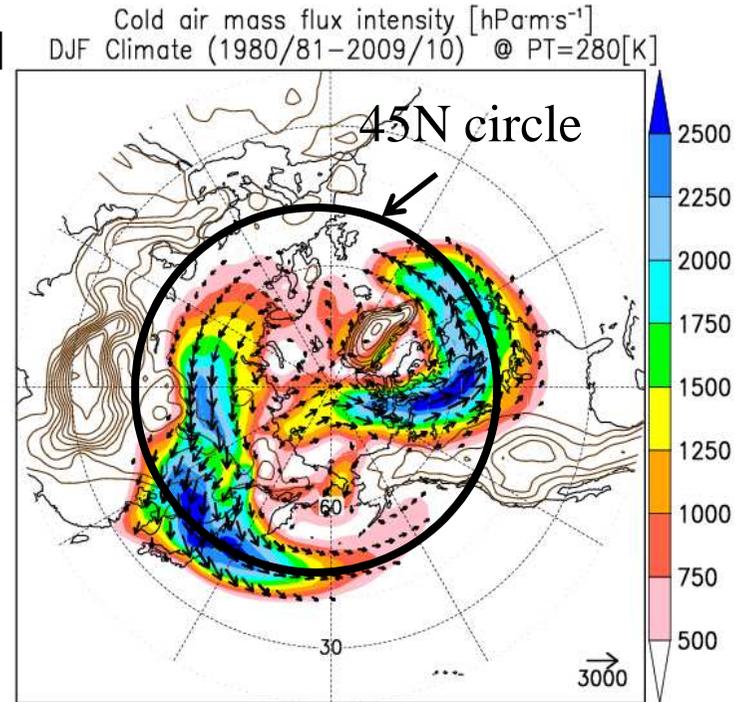
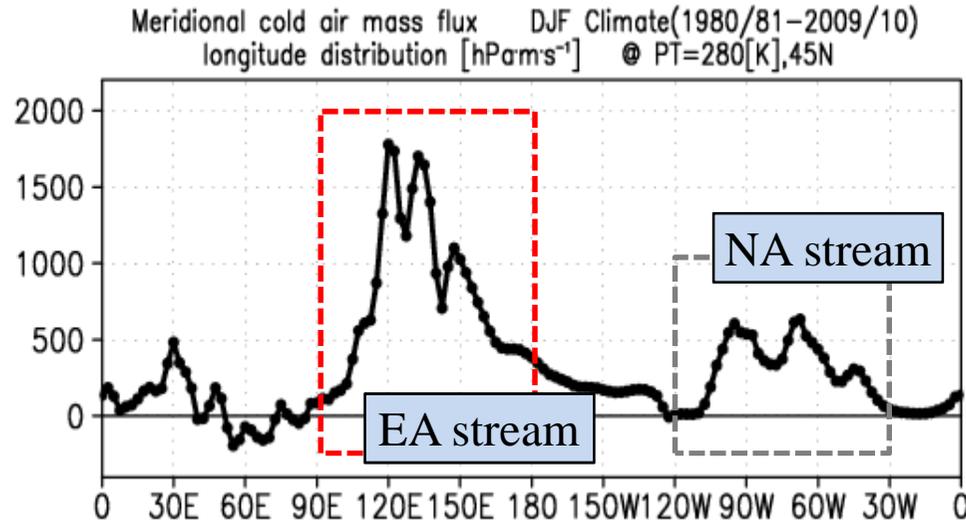


Cold air mass amount [hPa] and flux [hPa*m/s]
2013.DEC.01.00UTC @PT=280[K]

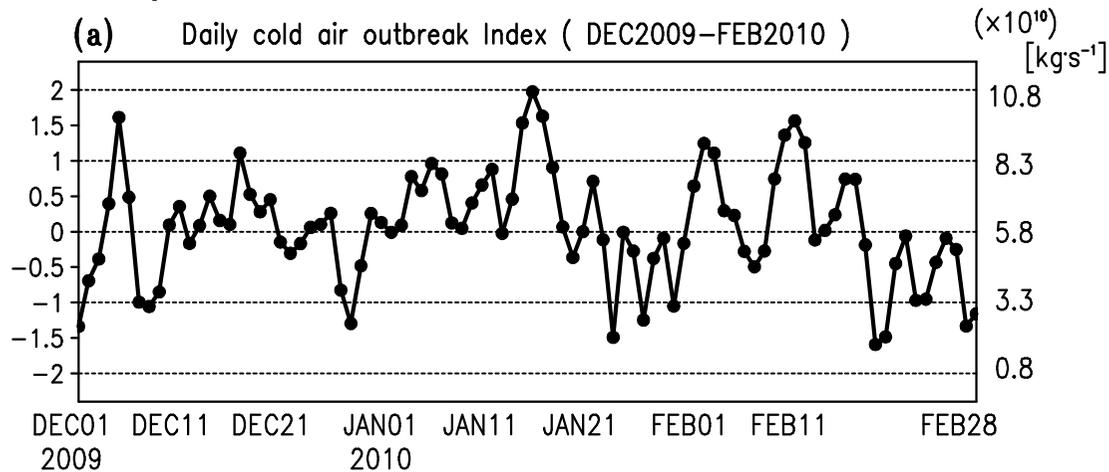


2. 東アジアの寒気流出

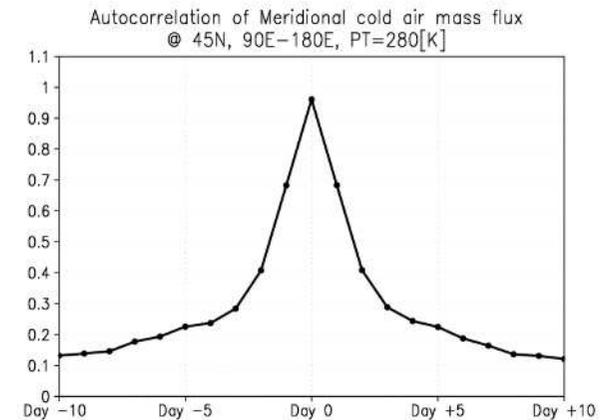
Equatorward comp. of Polar cold air mass flux at 45N



Temporal variation of EA stream (90-180E)



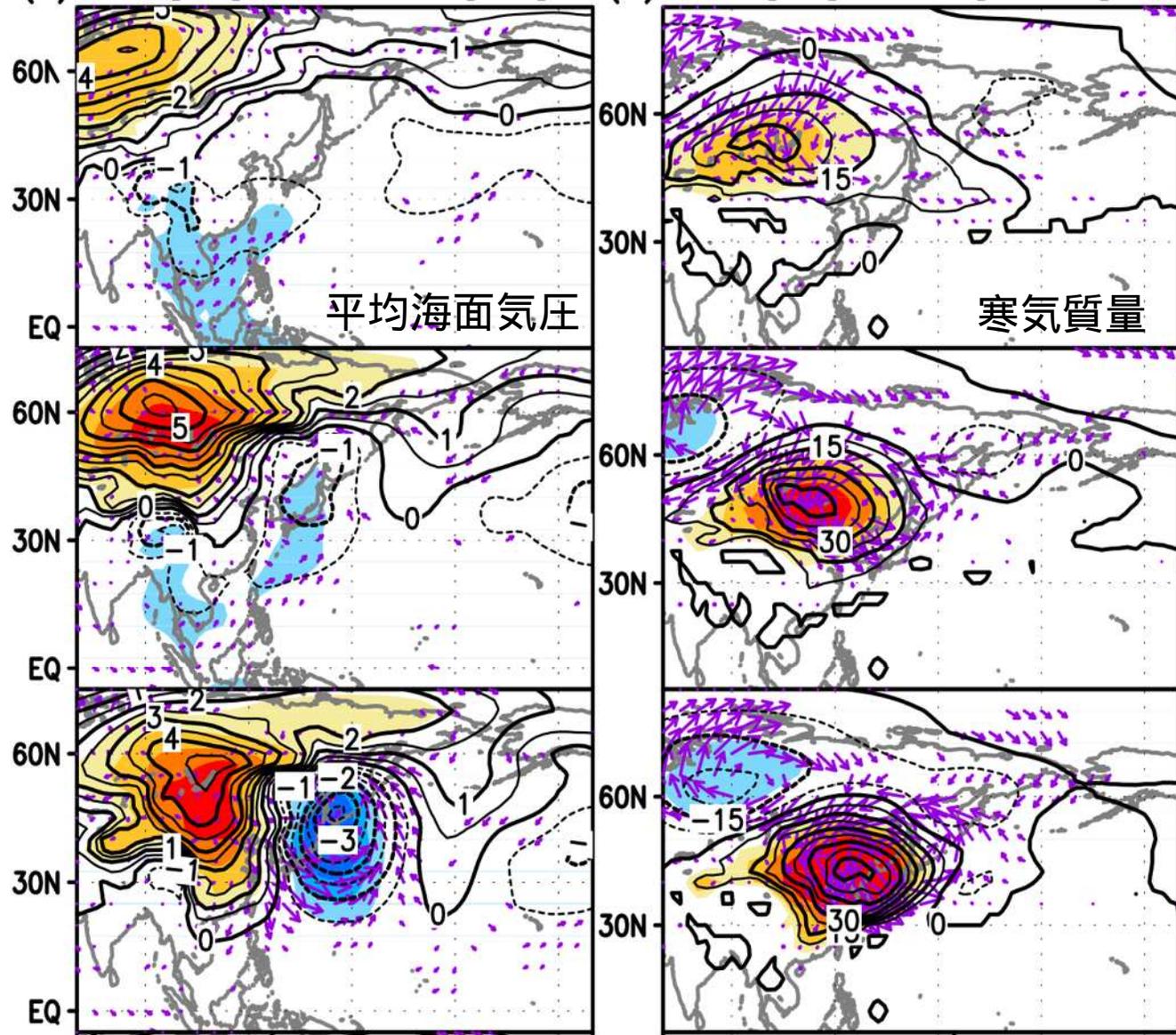
Auto correlation of PCAO Index



Shoji et al., (J. Climate, 2014)

45N,90E-135Eの寒気質量フラックスに対するラグ回帰・相関

Lag-Correction & regression against lwest @45 [PT-280h]
 (a) < SLP[hPa] & U10m, V10m[m·s⁻¹] > (b) < DP[hPa] & UF, VF[hPa·m·s⁻¹] >



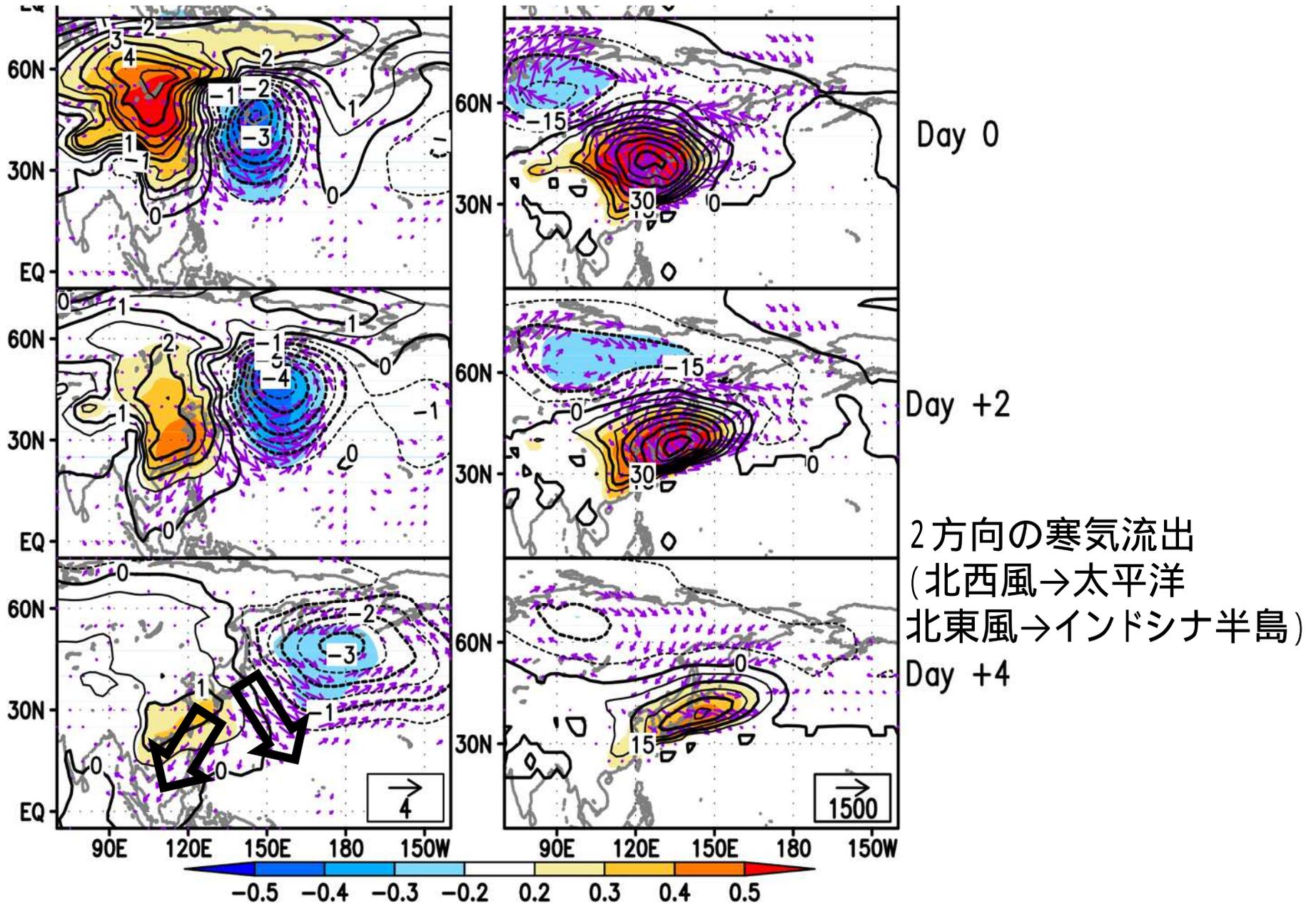
Day -4

Day -2

Day 0

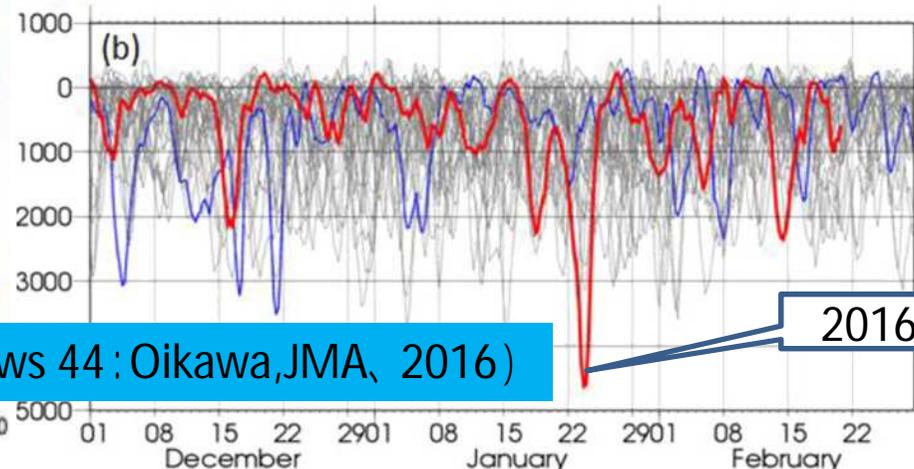
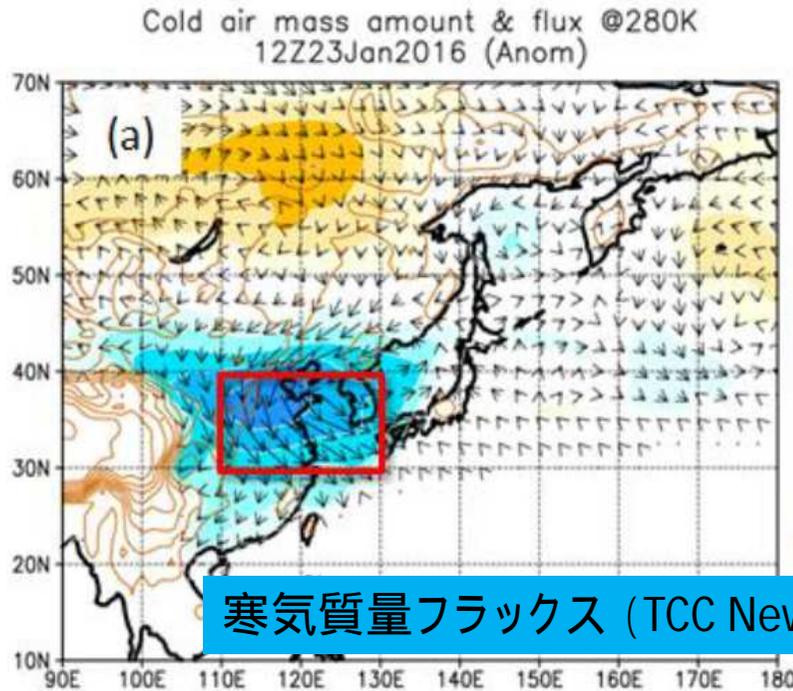
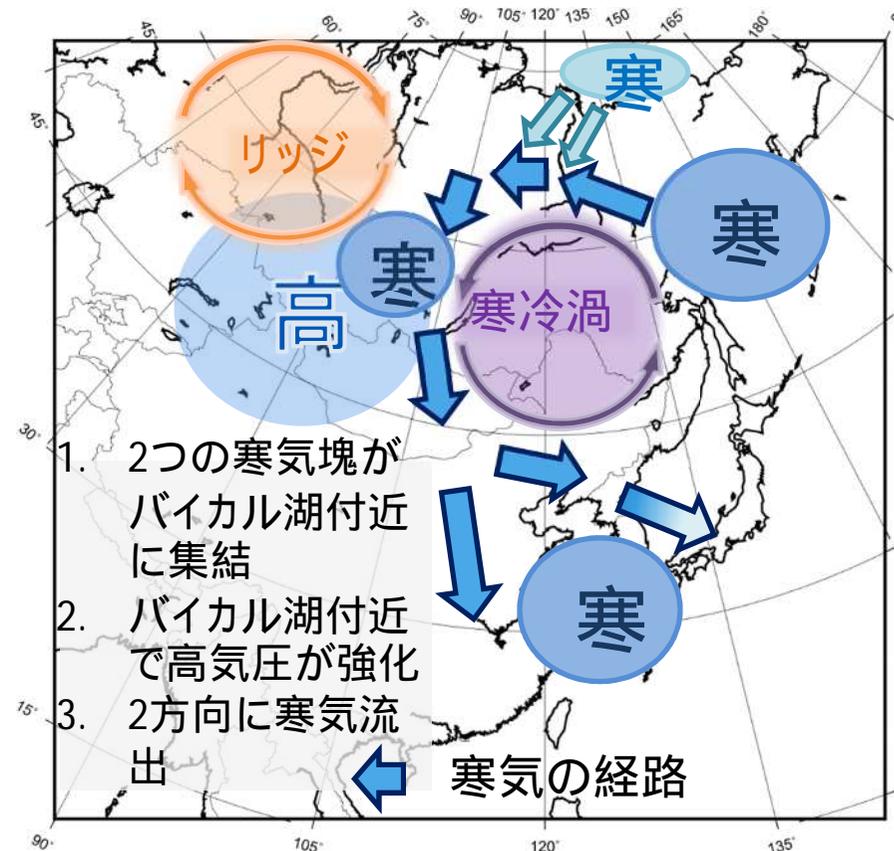
シベリア高気圧と
 三陸沖の低気圧の
 間に明瞭な寒気塊

45N,90E-135Eの寒気質量フラックスに対するラグ回帰・相関



-2016年1月20-25日の記録的大寒波- By 山口純平君

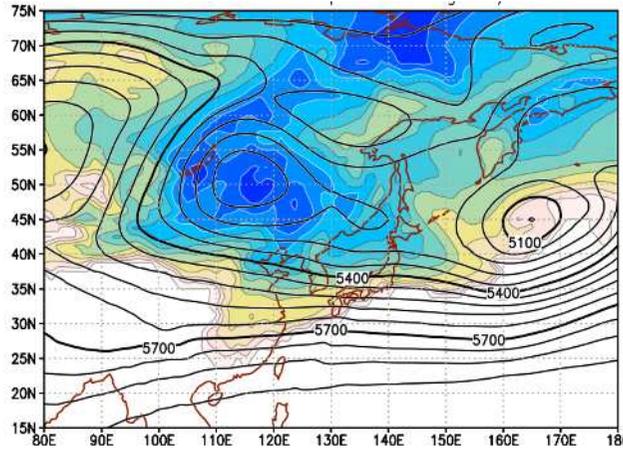
- 島根県邑南町で過去最多の102cmの降雪
- 奄美APHRODITE's precipitation大島で115年ぶりの降雪
- 沖縄本島で初のみぞれを観測
- 北京、上海で30年ぶりの低温。
- 広州では60年ぶりの雪。
- 香港では59年ぶりの寒さ、3.1 を記録
- 台北市で43年ぶりに最低気温4 を観測



寒気質量フラックス (TCC News 44 : Oikawa, JMA, 2016)

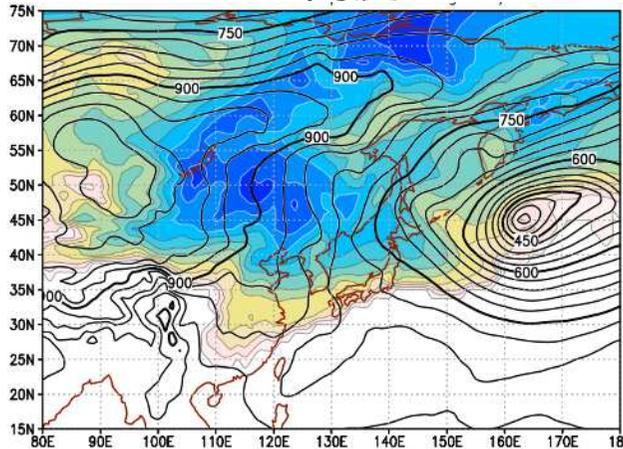
寒気質量・特定等圧面高度・鉛直断面 (1/21 12:00UTC)

500hPa高度



寒気ドームの
ピーク位置は
上層の切り離し
低気圧に一致。

925hPa高度



寒気塊はシベ
リア高気圧と
三陸沖低気圧
の間に。

寒気質量 [hPa]

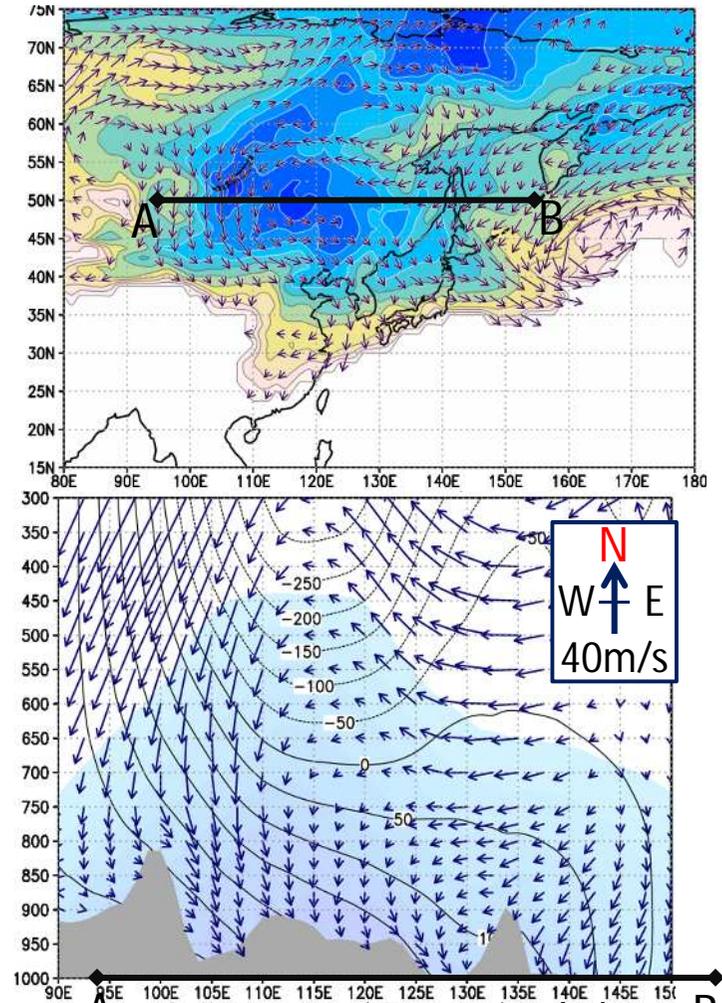


温位 [K]



平均速度が西側で南向きに強く、東側で弱くなっている

寒気平均速度



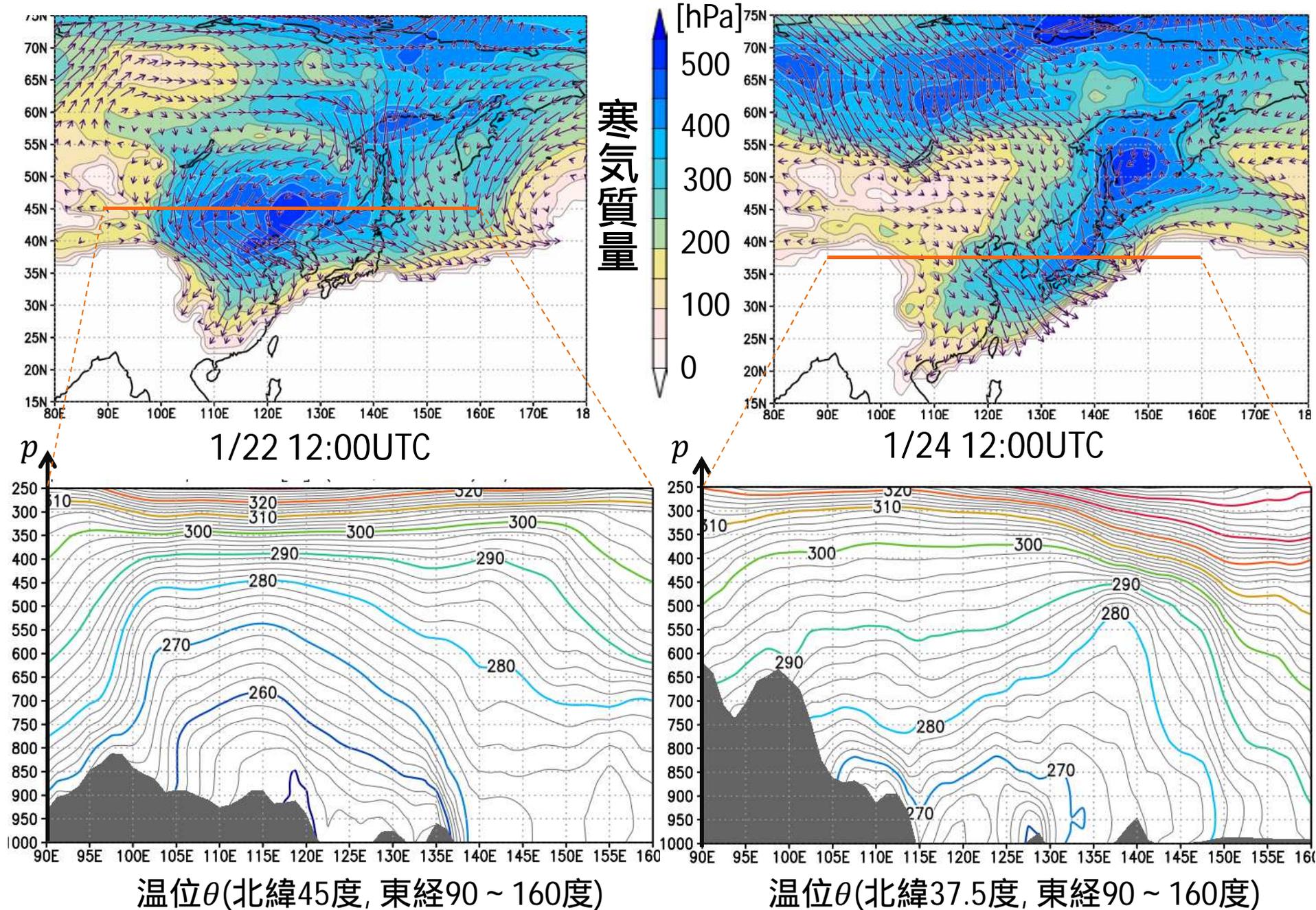
A B
上図A-Bに沿った鉛直断
面図(温位・高度偏差・風)

*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



寒氣質量・鉛直断面図



1. 寒気のピーク位置は上空500hPaの切離低気圧に概ね一致。
(切離された寒気ドームの上に上層低気圧が形成される)
2. 各高度の温位は寒気ドームの中心付近で低い。複雑地形の場合を除き、陸上では、上空の気温が低ければ下層の気温も低い。
(ただし、海上では強い加熱のためこのルールは成り立たない。)
3. 寒気流出は(切離された)寒気ドームの西側で強い。

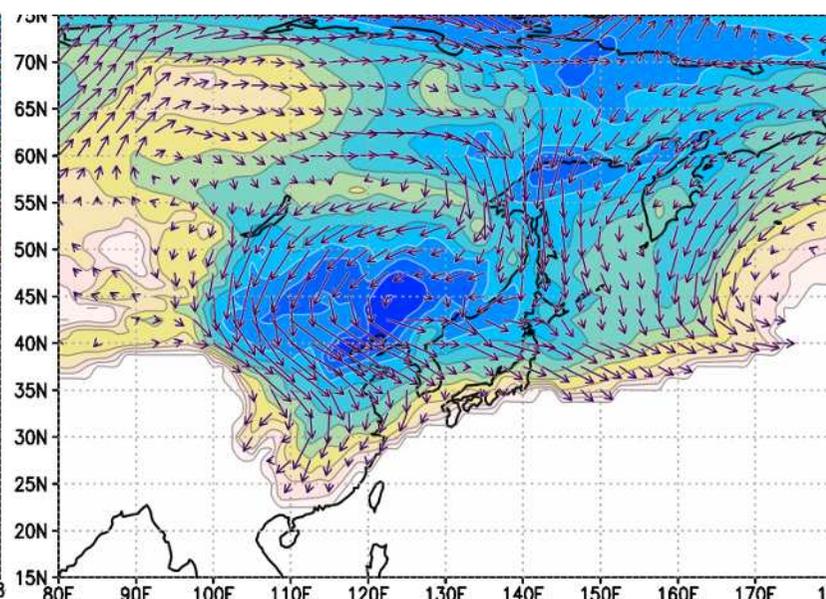
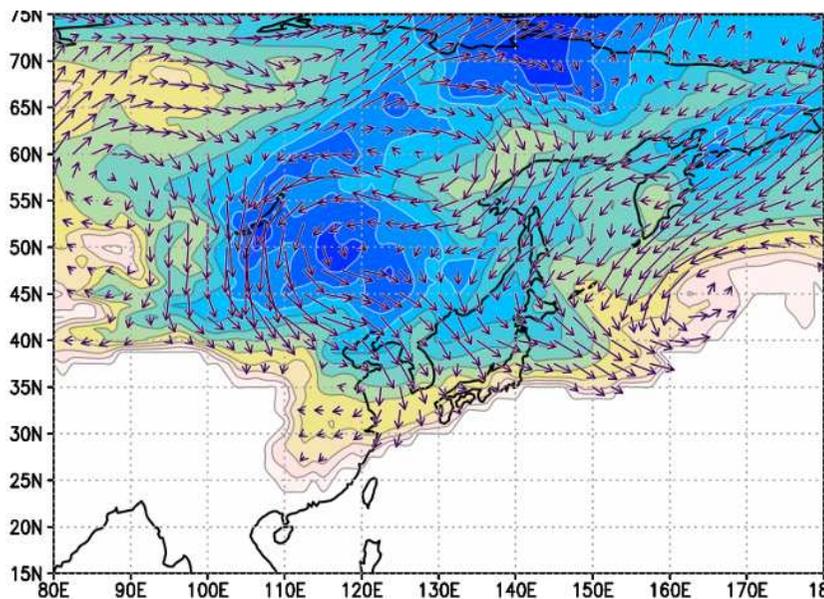
× × 付近には、上空5500mで気温-45 の強い寒気があって...

× × 付近には、温位280K面が5300mに達する背の高い寒気があつて...

寒気質量・寒気質量フラックス

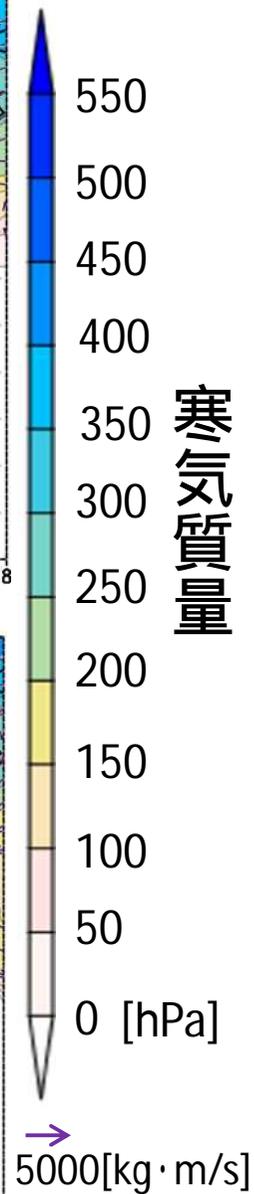
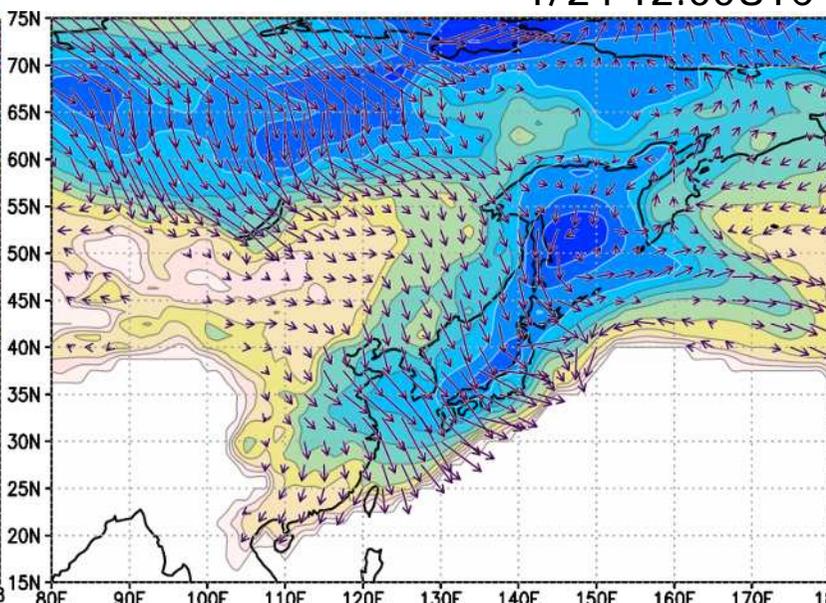
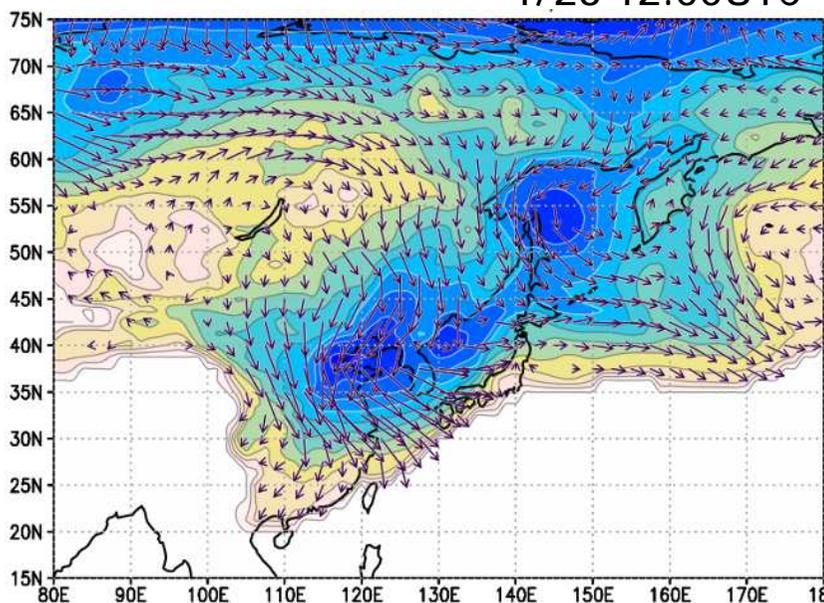
1/21 12:00UTC

1/22 12:00UTC



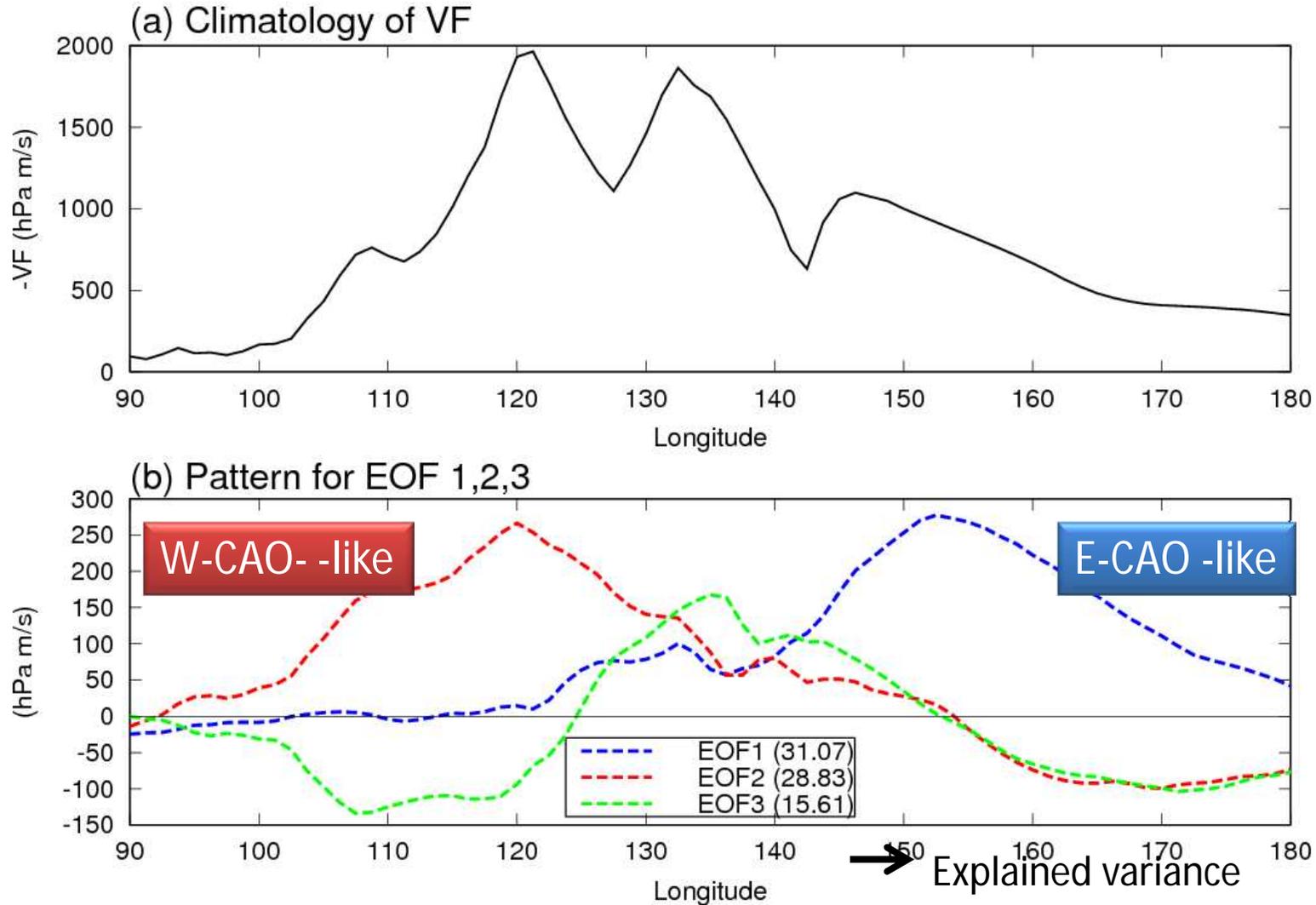
1/23 12:00UTC

1/24 12:00UTC



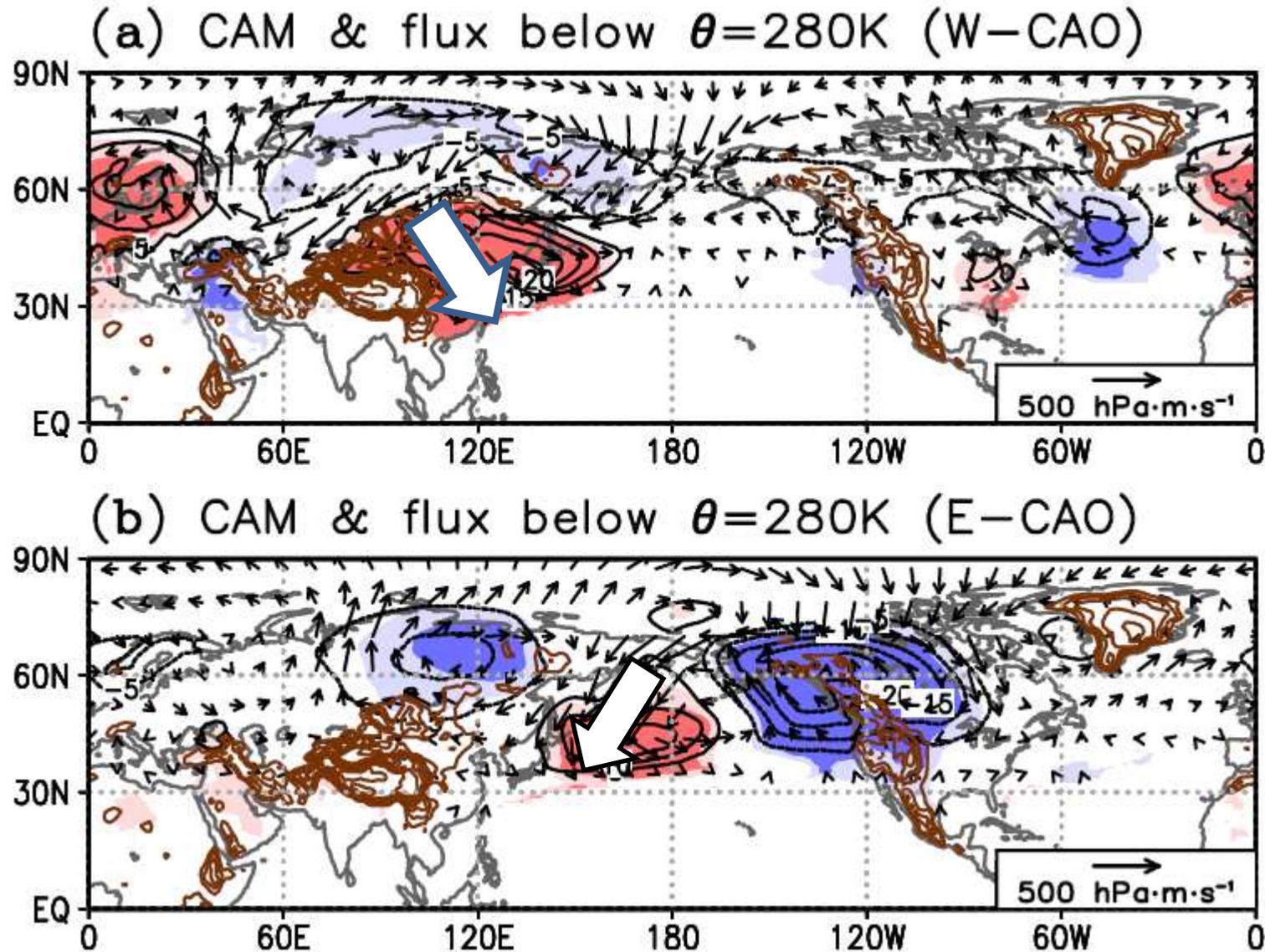
熱帯の影響：ENSOと寒気流出

45N南向き寒気質量フラックスの年々変動をEOF展開

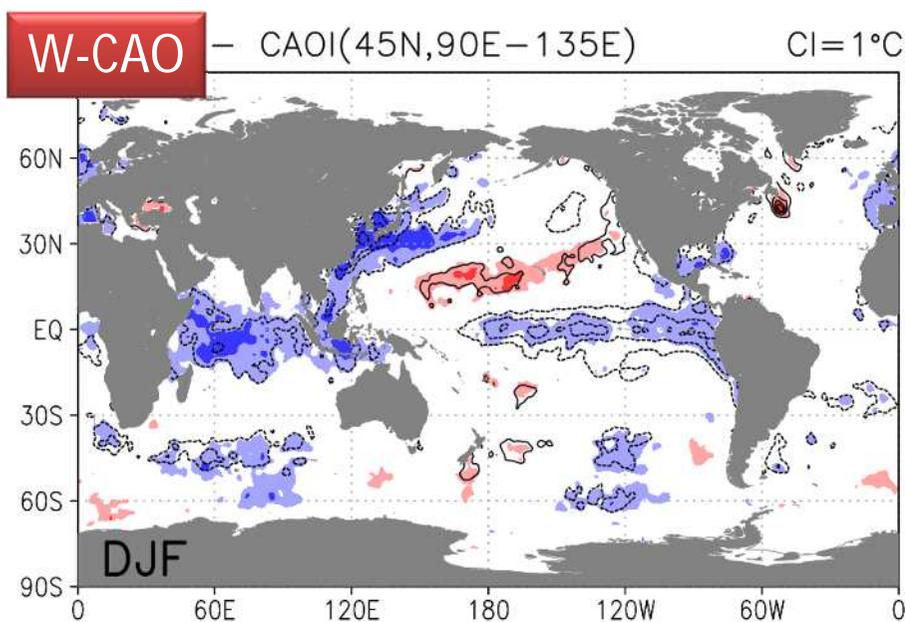


Rais et al., (JC, in press.)

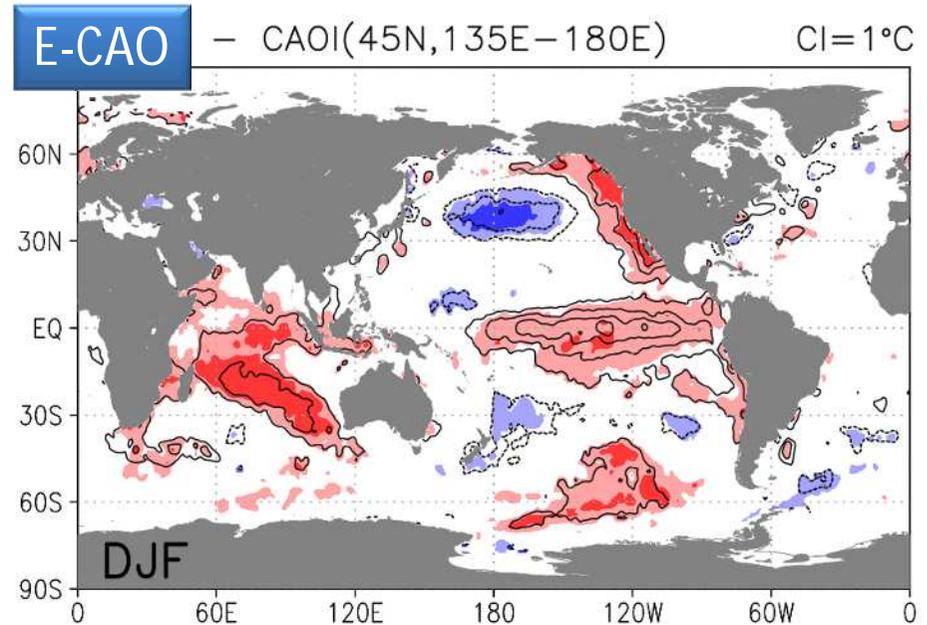
Regression of interannual variations of cold air mass and flux onto W-CAO and E-CAO indices. **DJF means**



Interannual variability of SST regressed on W-CAO and E-CAO



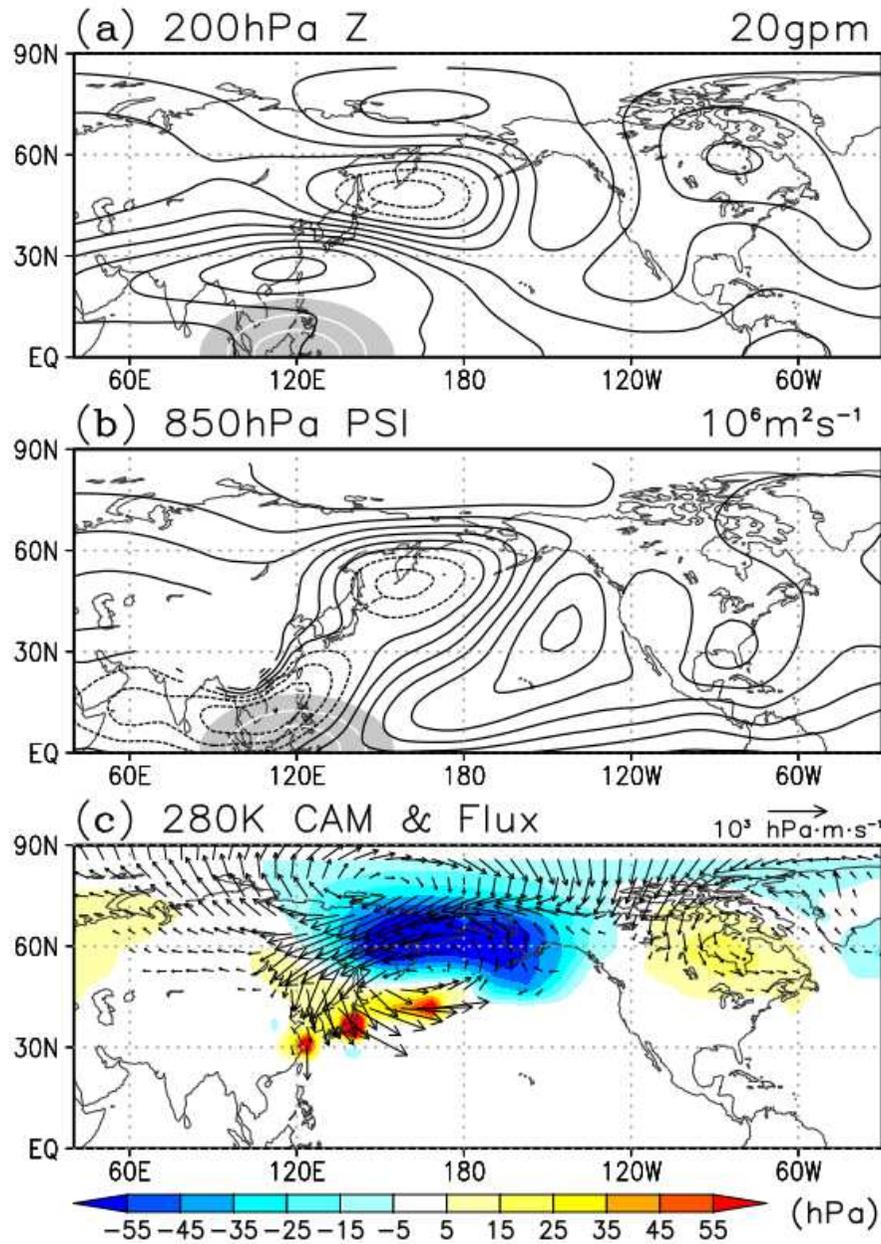
W-CAO → resemble La-Nina pattern



E-CAO → resemble El-Nino pattern

Contour: Regression coefficients

Dark & Light shading: Correlation exceeds 99% & 90% sig.



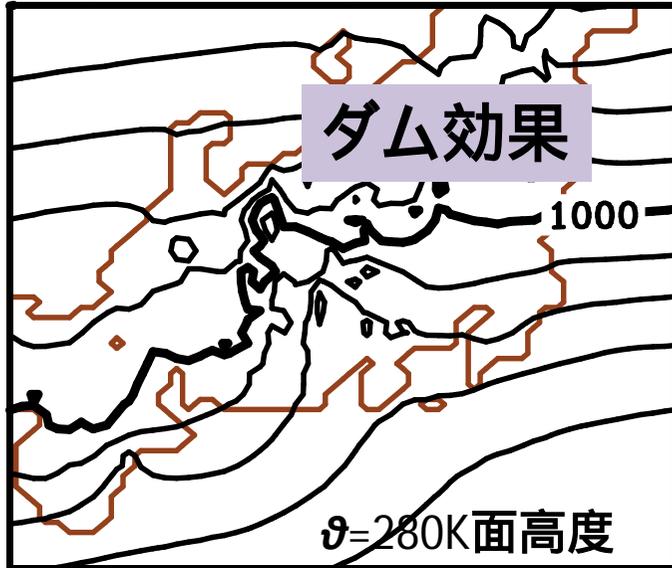
海洋大陸周辺の熱源
 → 北日本東方の低気圧

LBM(線形応答)
 (Watanabe & Kimoto, 2000)

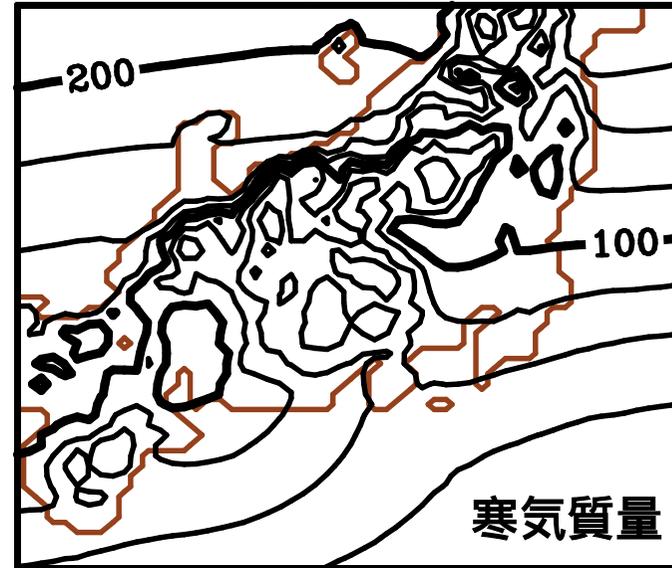
3. 寒気流出に関わるメソスケール現象

関東・甲信地方への寒気流入の気候特性

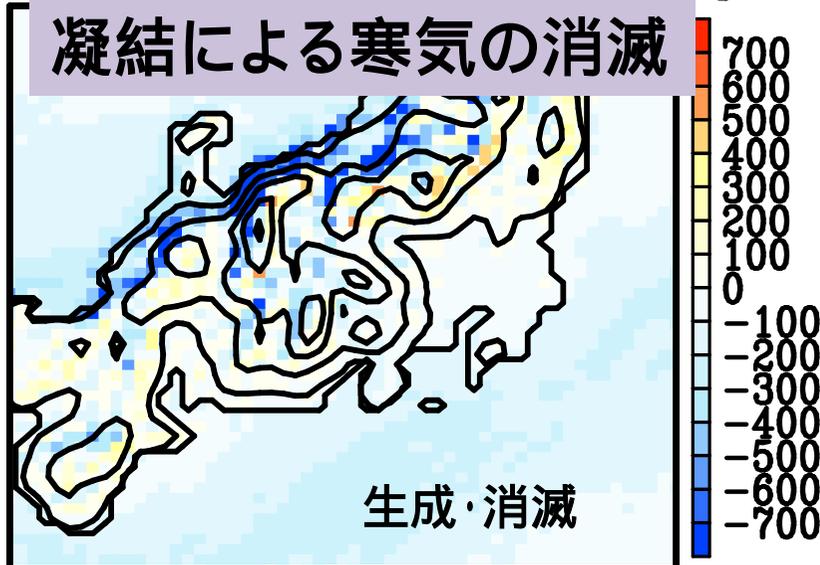
Geopotential height @ 280K [m]



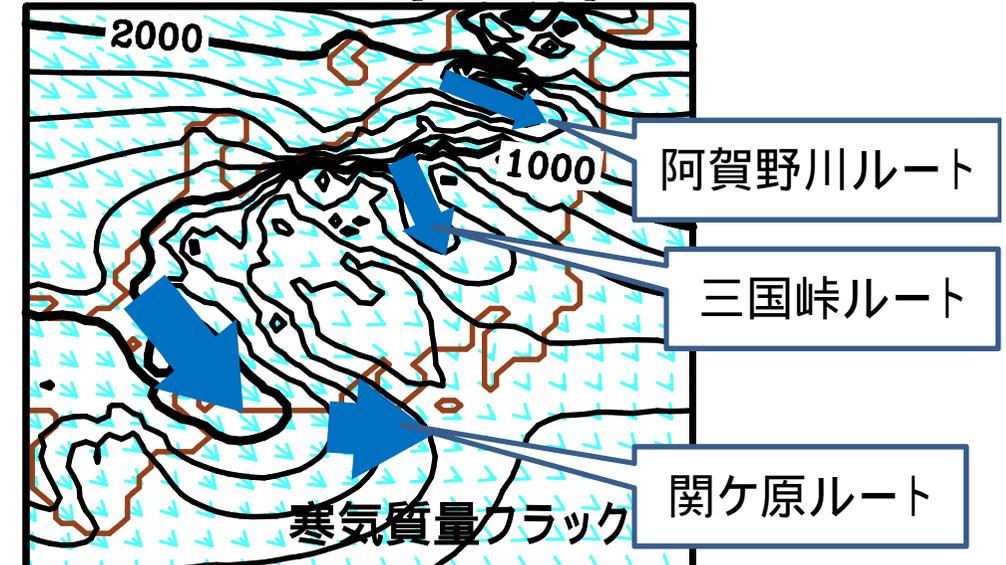
Cold airmass [hPa]



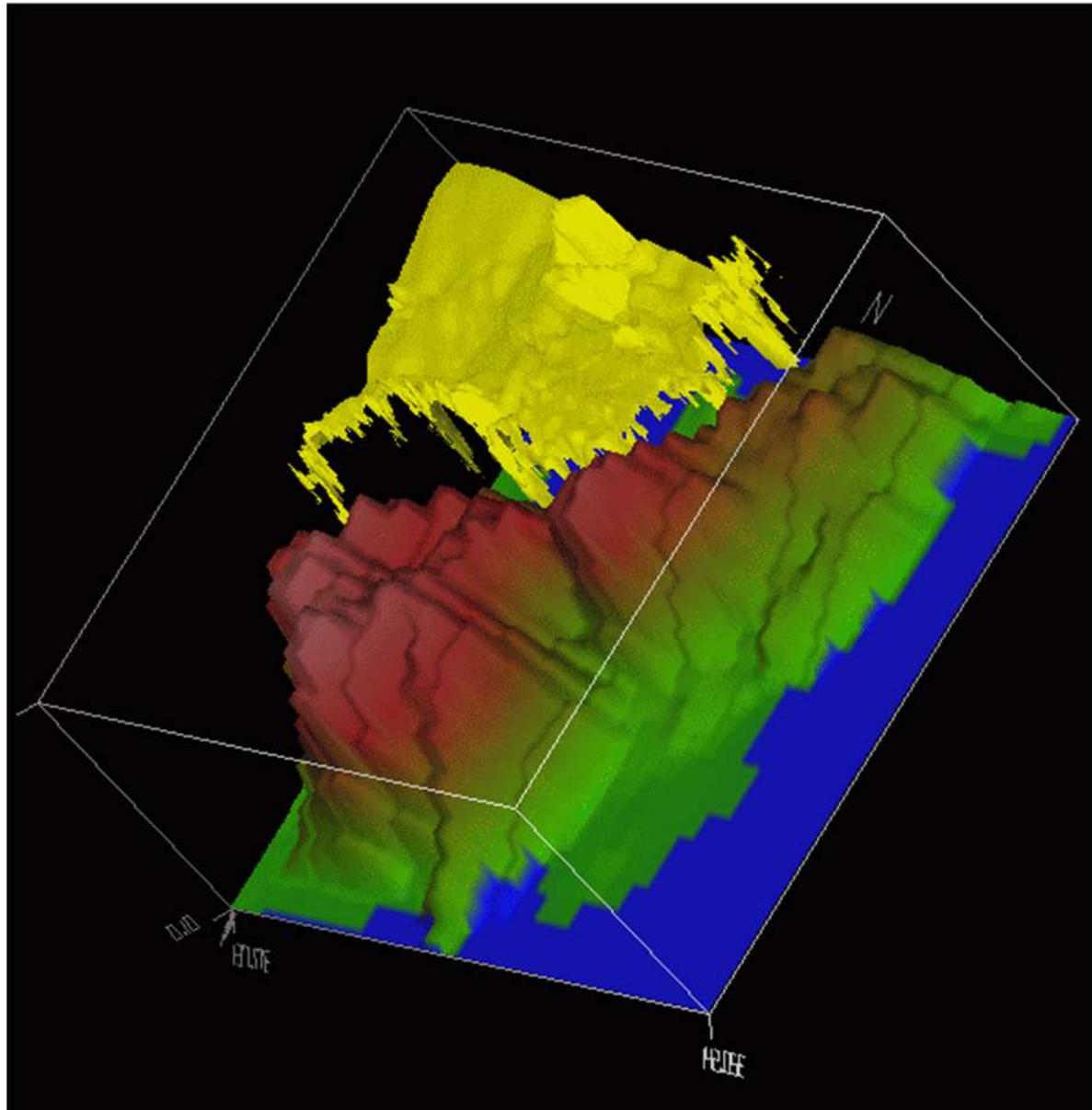
Cold airmass generation [hPaday⁻¹]



Cold airmass flux [hPams⁻¹]



寒気流入経路



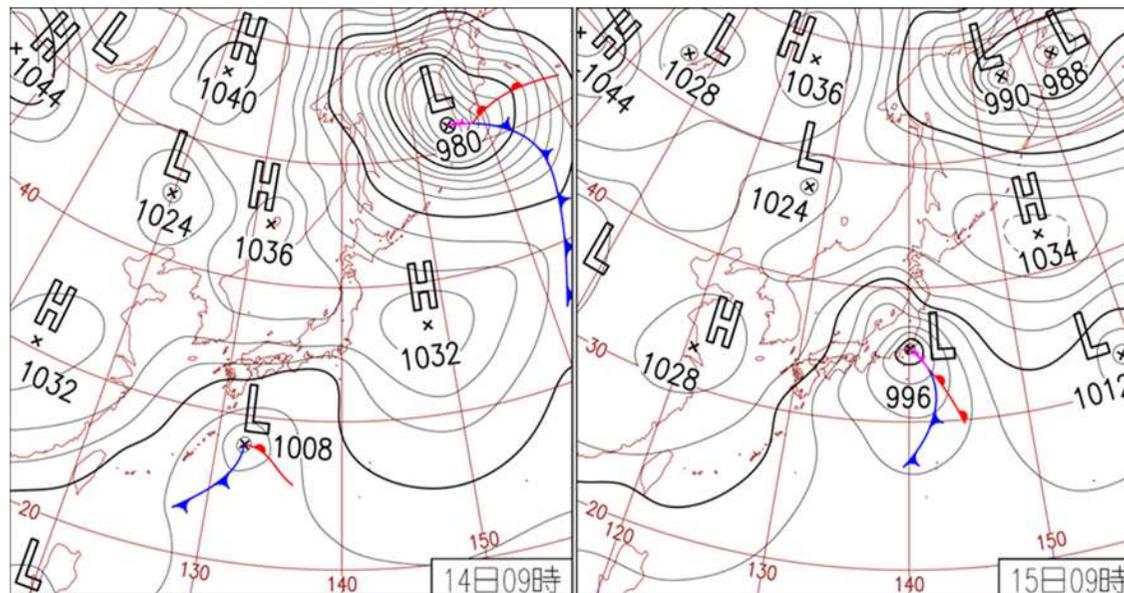
2009年3月23日00JST-
(成田空港事故)
温位: 286Kの等値面

寒気流入経路
阿賀野川-会津-郡山
三国峠
関ヶ原

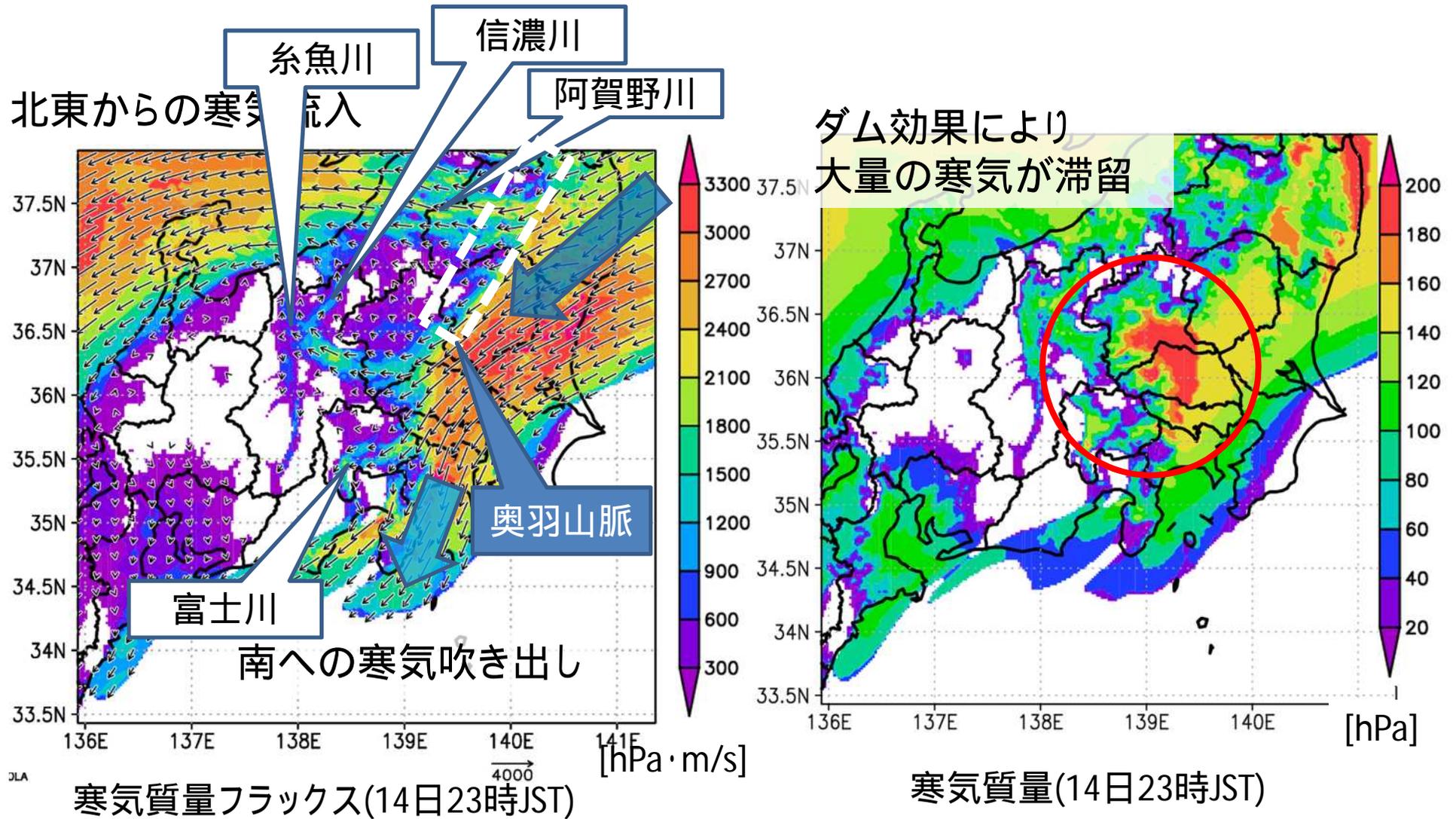
再現実験
1.5kmメッシュモデル
一川孝平君作成

南岸低気圧による関東甲信の大雪 2014年2月14-15日

NHM(2km)による再現実験 → 寒気流出解析 (田ノ下潤一君)



奥羽山脈の東斜面で寒気質量のダム効果



- ・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

水蒸気フラックス

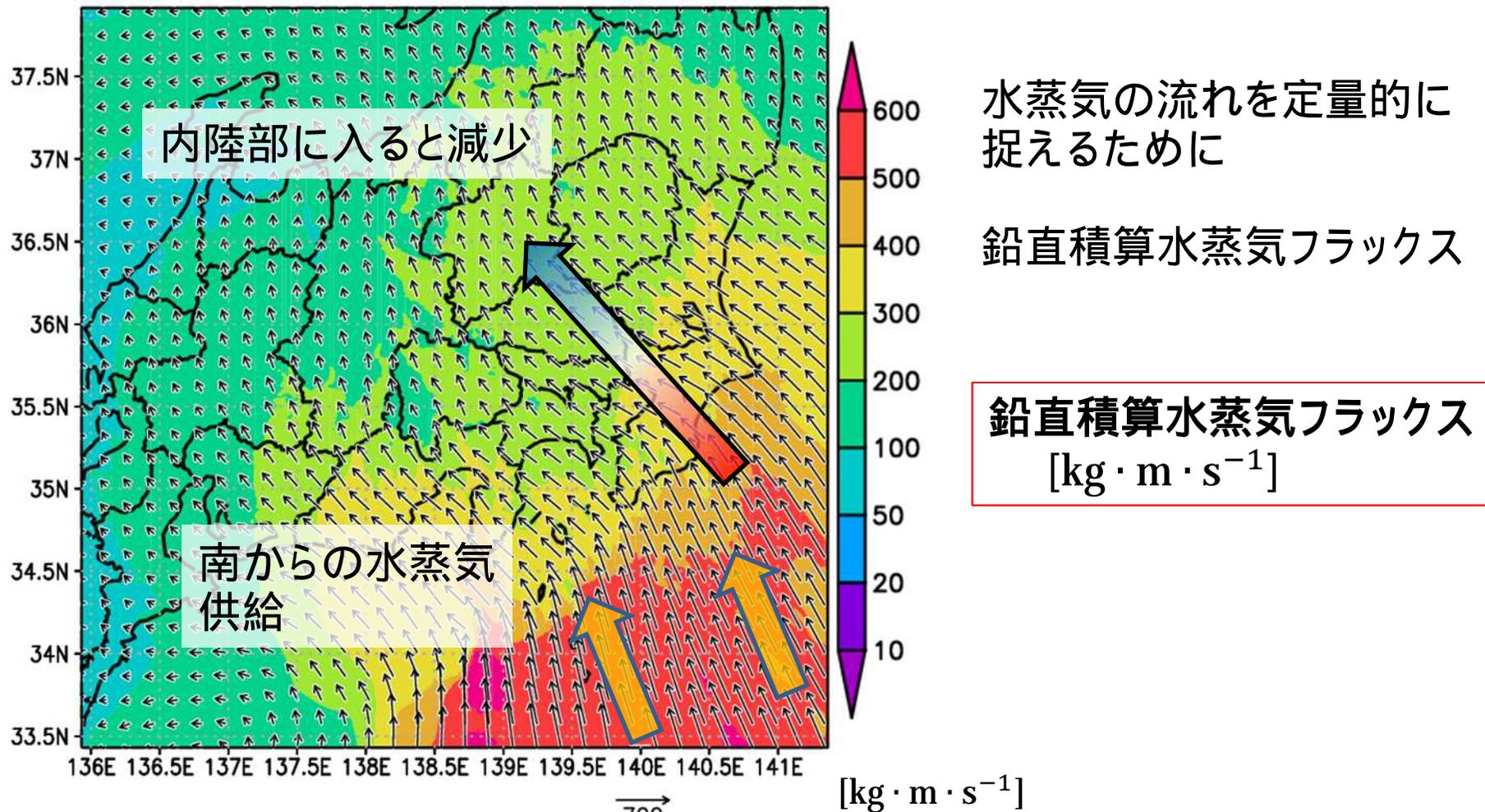


図13:水蒸気フラックスの鉛直積算(14日23時JST)

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

水蒸気の上昇

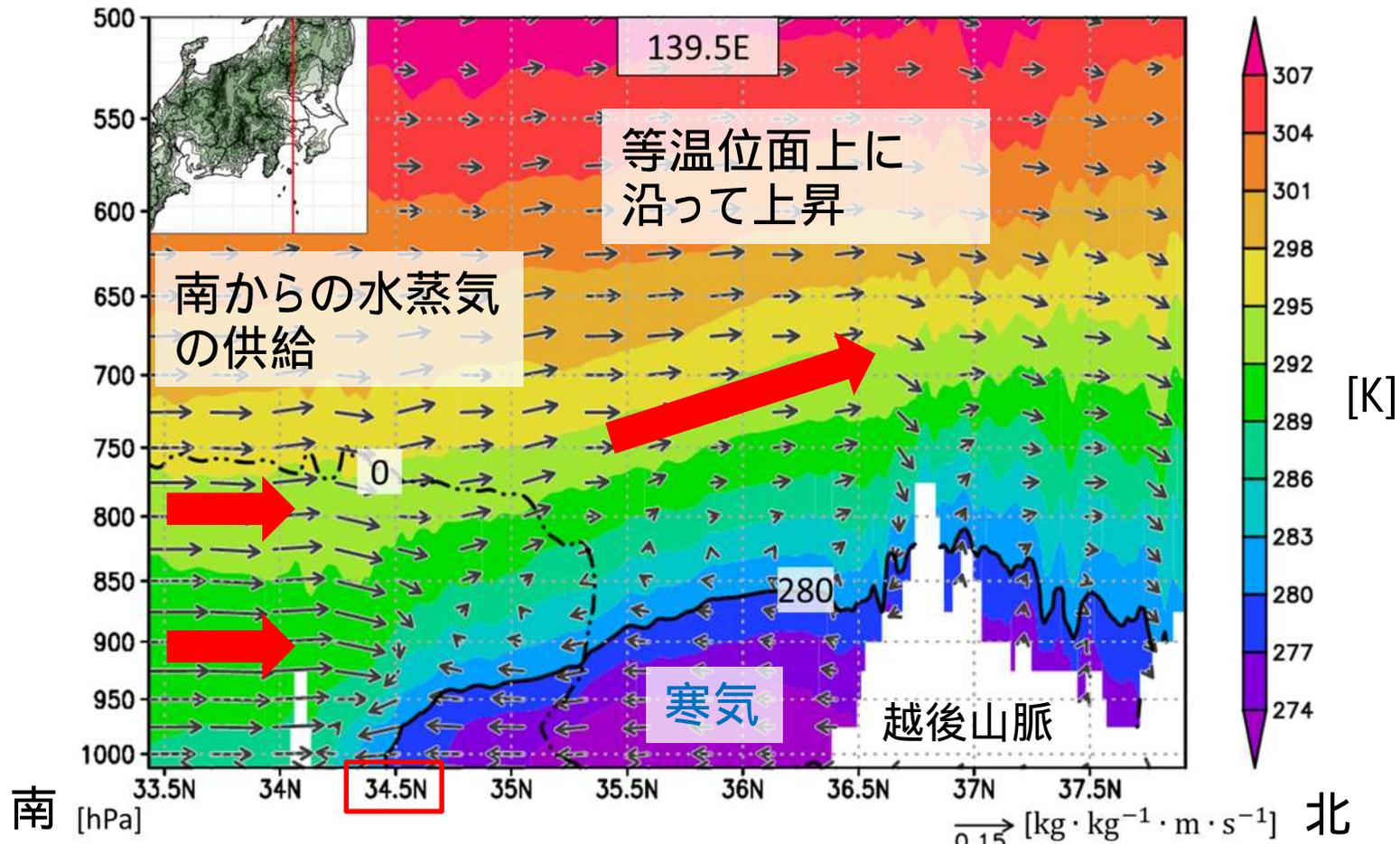
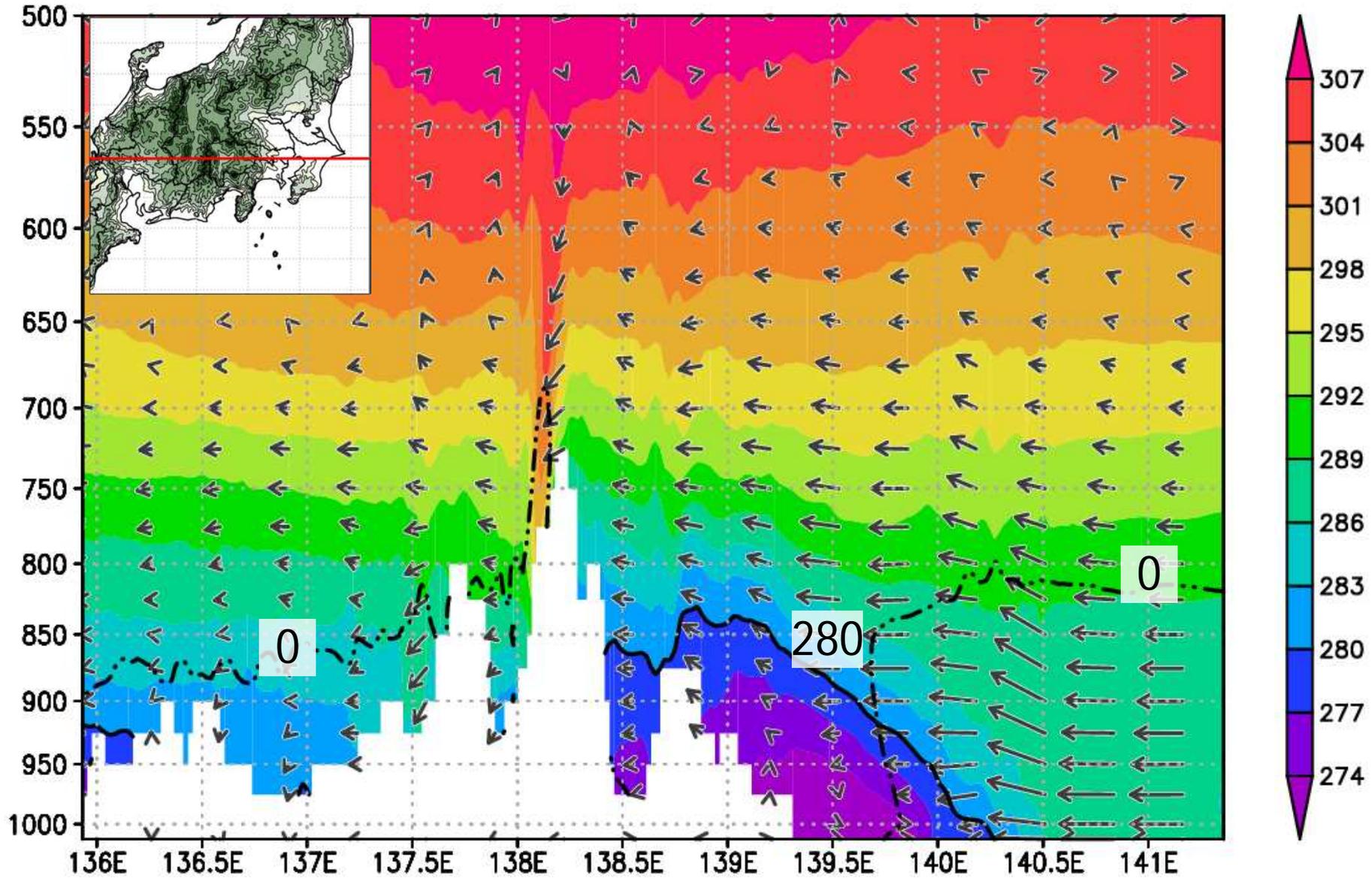


図16: 温位と水蒸気フラックスの鉛直断面(東経139.5度)



南方からの暖かく湿った空気は停留した寒気に乗上げたために、断熱冷却により大量の降雪を引き起こした

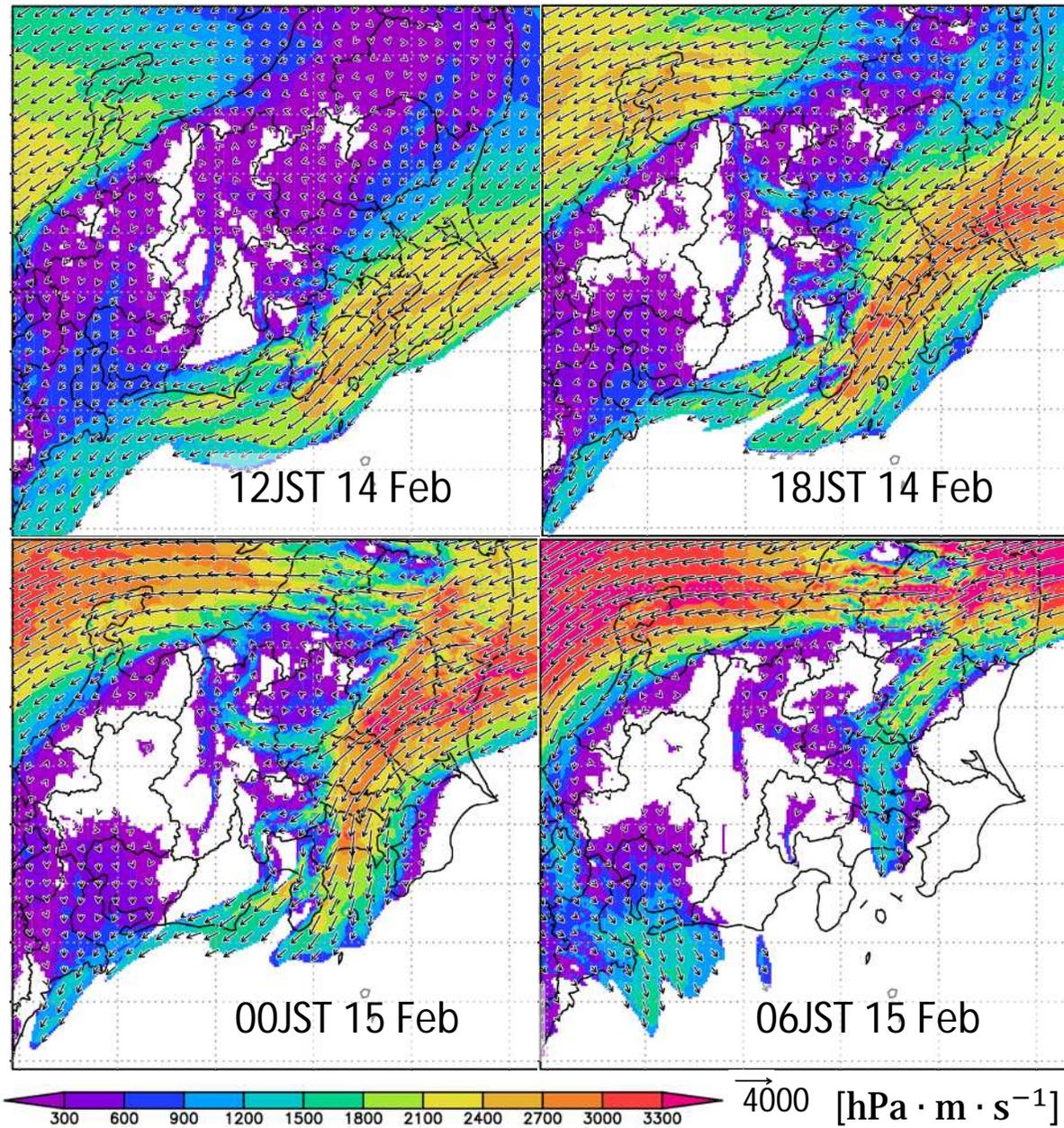
35.6N



i]

0.15

[K



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

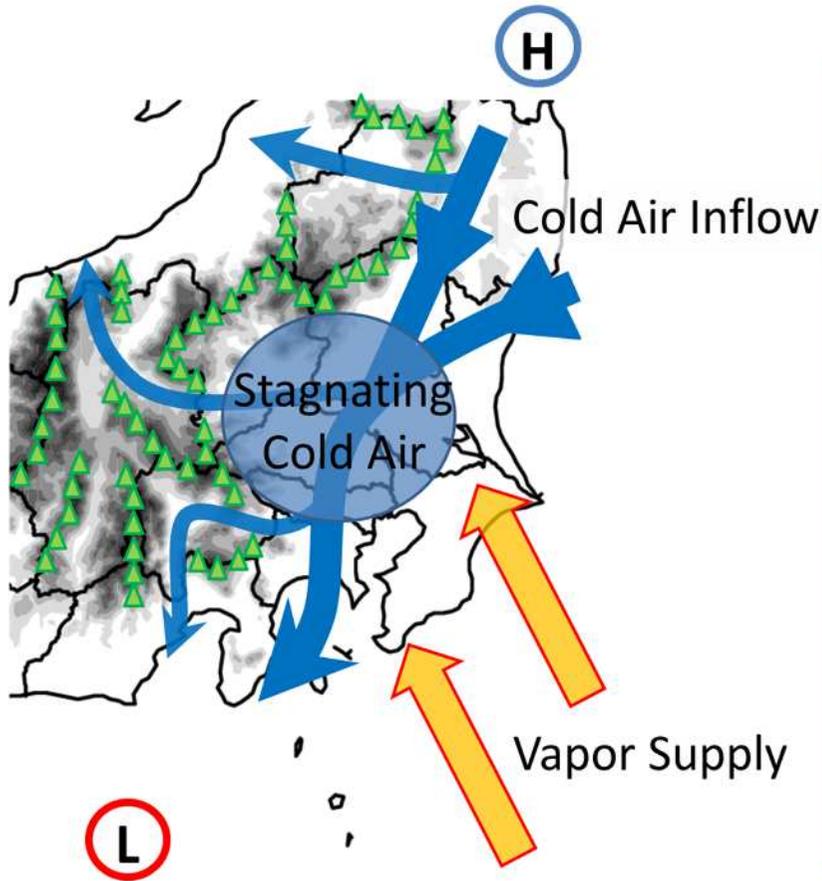
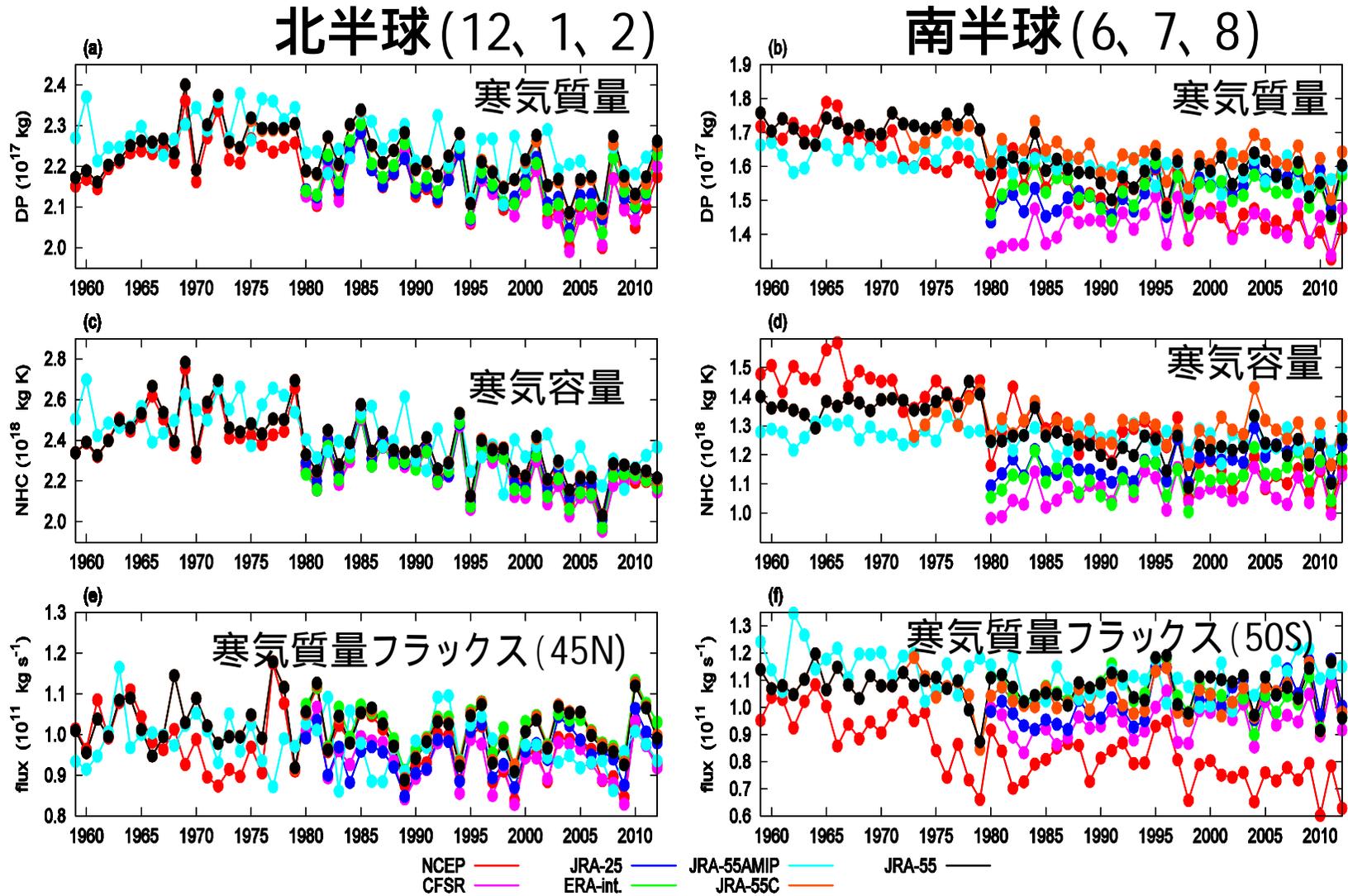


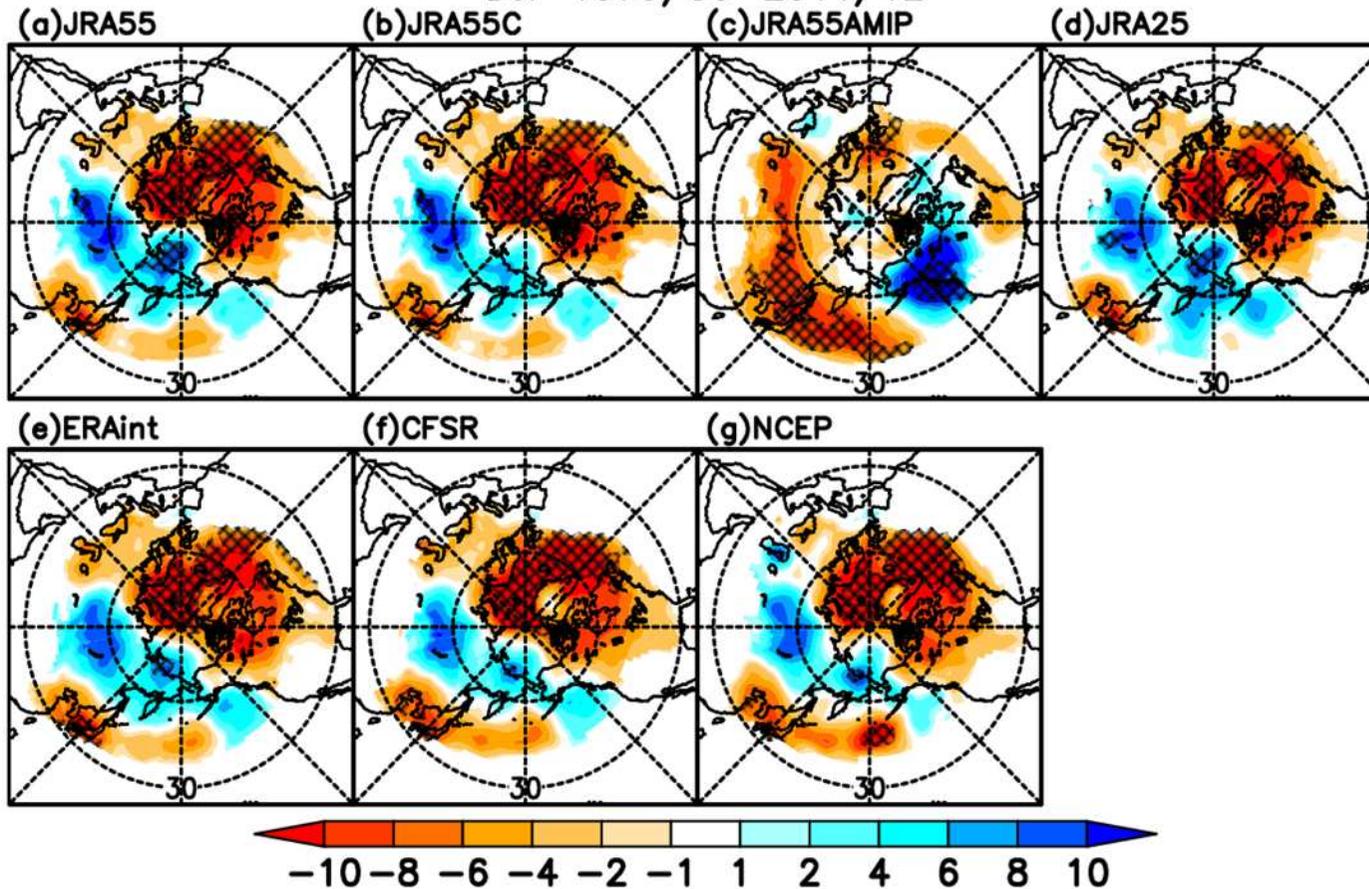
図17: 寒気流入の概念図

4. 寒気流出に対する地球温暖化の影響



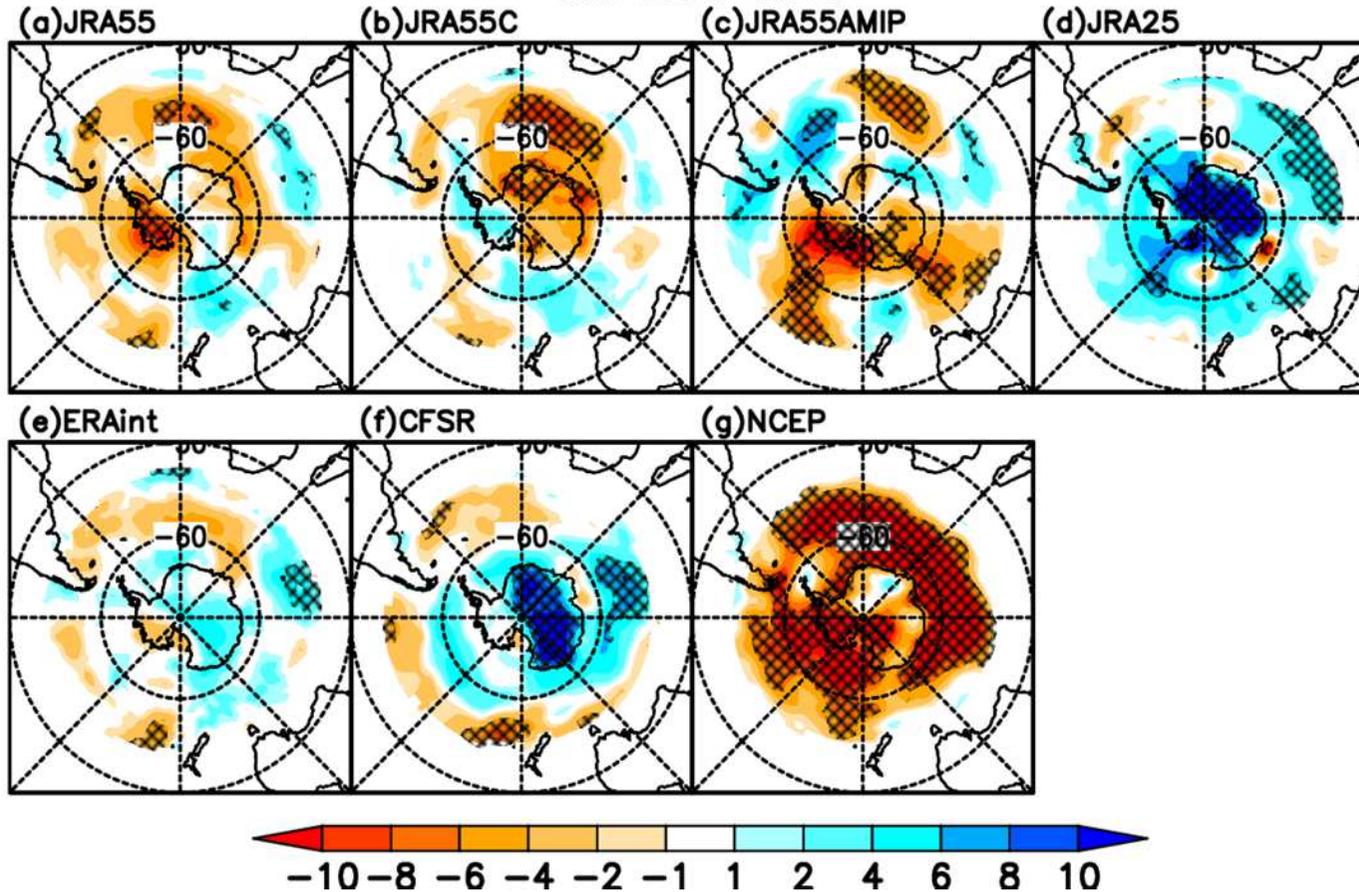
北極域の寒気質量のトレンド

Cold air mass amount trend [hPa·decade⁻¹] @PT=280(K)
DJF 1979/80–2011/12

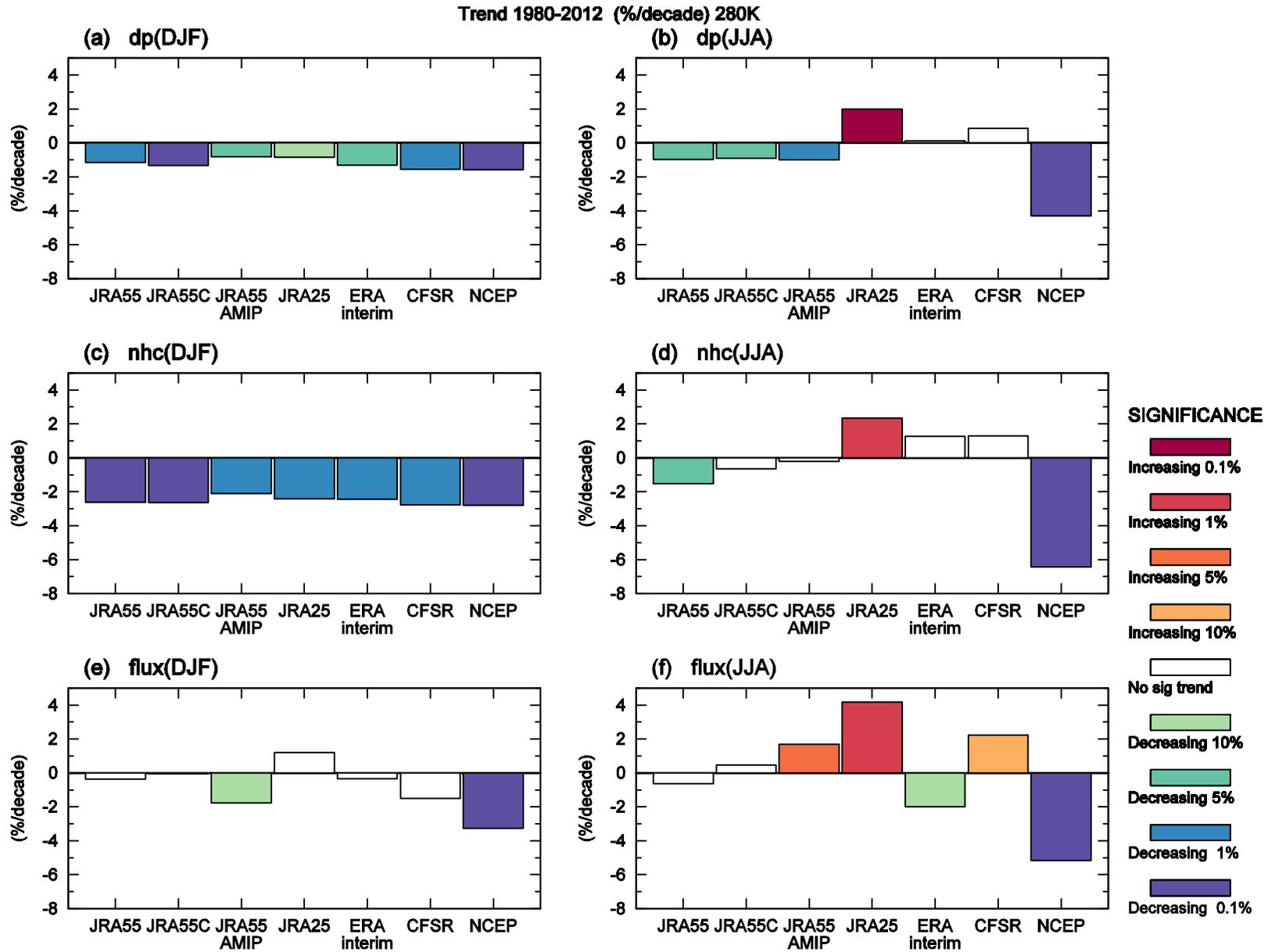


南極域の寒気質量のトレンド

Cold air mass amount trend [hPa·decade⁻¹] @PT=280(K)
JJA 1980–2012



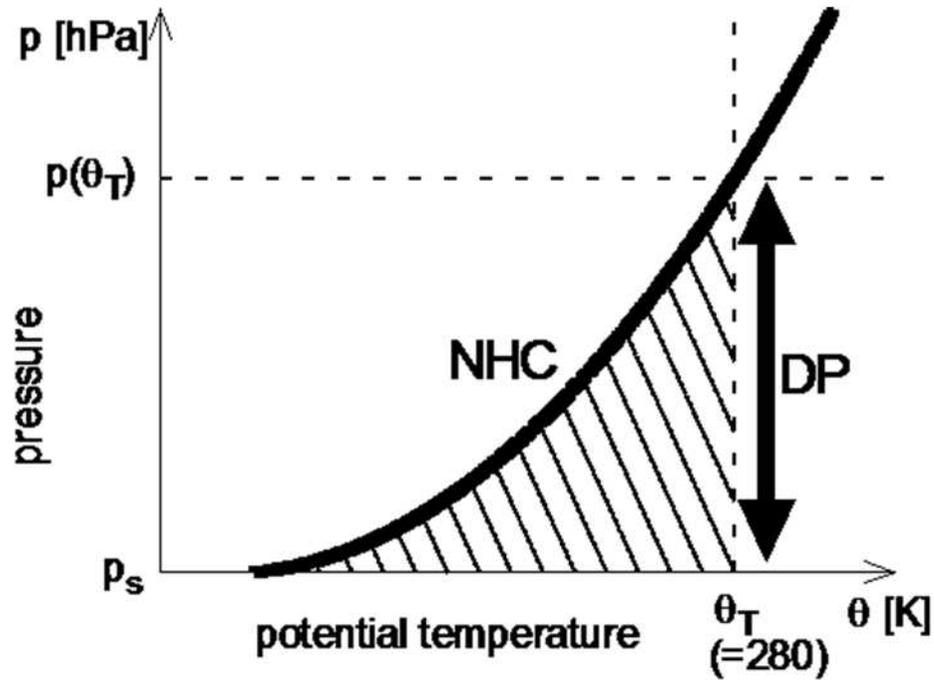
1980年以降の経年変化



寒気流出に関する地球温暖化の影響

1. 北半球の寒気質量・寒気容量とも再解析間のばらつきは小さく、減少トレンドが明瞭である。特に寒気容量の感度が高い。
2. 45Nの南向き寒気質量フラックスの年平均値を年々の寒気流出強度の目安とする。(寒気質量や寒気容量に比べて)年々変動が大きく再解析間のばらつきも大きい。寒気流出のトレンドは現時点では明瞭でない。
3. 南半球のトレンドは寒気質量・寒気容量ともばらつきが大きい。今後観測システムの再構築を含めて、監視強化に取り組む必要がある。

Polar cold air mass and Negative heat content (NHC)



$$DP(\lambda, \phi) \equiv p_s(\lambda, \phi) - p(\lambda, \phi, \theta_T)$$

$$NHC \equiv \int_{p(\phi, \lambda, \theta_T)}^{p_s(\phi, \lambda)} (\theta_T - \theta) dp$$