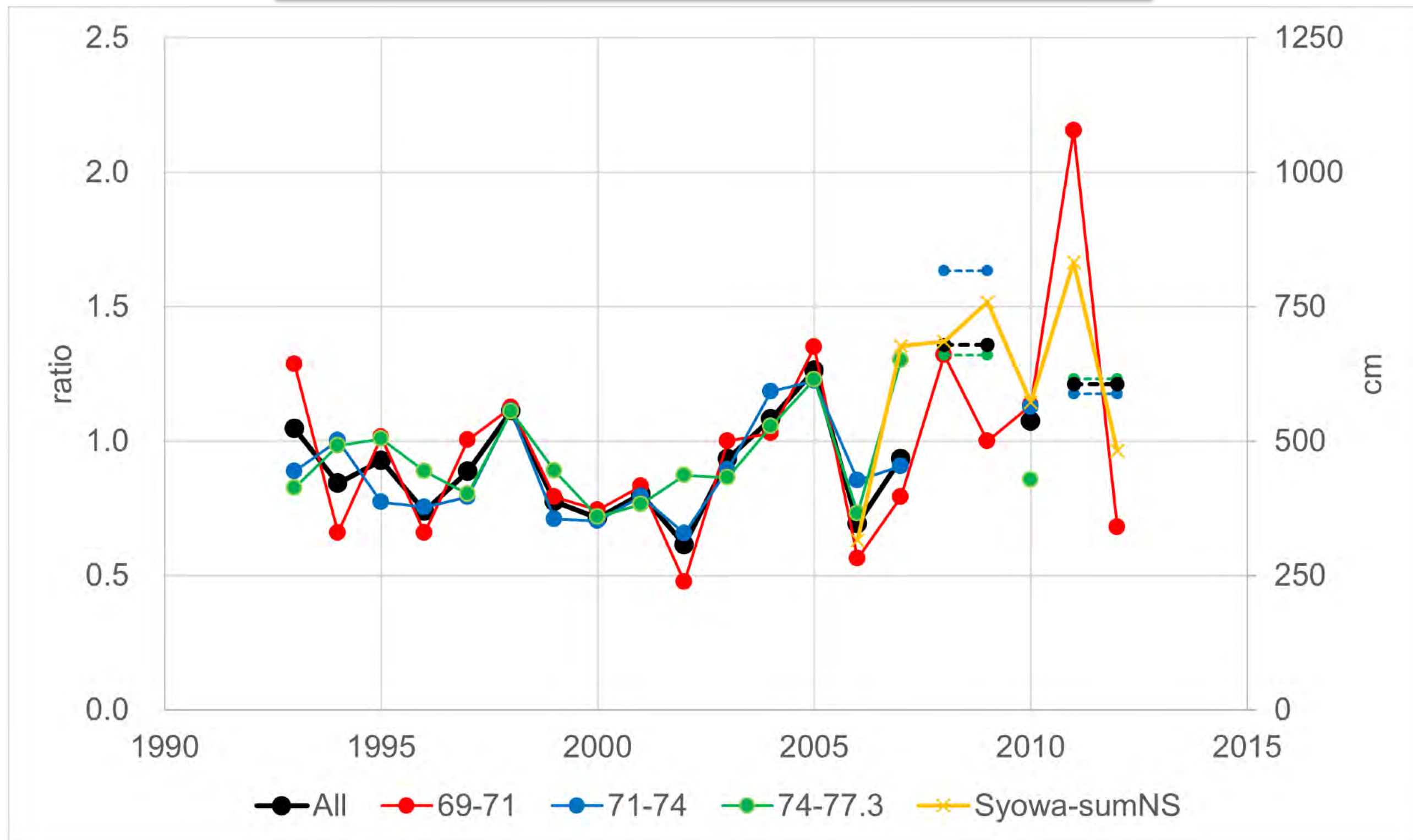


機械学習による昭和基地からみる 大気中微量物質の輸送予測システムの構築

*鈴木 香寿恵(法政大理工)
共同研究メンバー

南極の涵養量は増えているのか？

JAREによる内陸ルート上の年間涵養量



東南極で観測されたAtmospheric River

Geophysical Research Letters

RESEARCH LETTER

10.1002/2014GL060881

Key Points:

- Atmospheric rivers explain East Antarctic anomalous SMB in

The role of atmospheric rivers in anomalous snow accumulation in East Antarctica

Irina V. Gorodetskaya¹, Maria Tsukernik², Kim Claes¹, Martin F. Ralph³, William D. Neff^{4,5}, and Nicole P. M. Van Lipzig¹

南極昭和基地の気象

佐藤 薫*

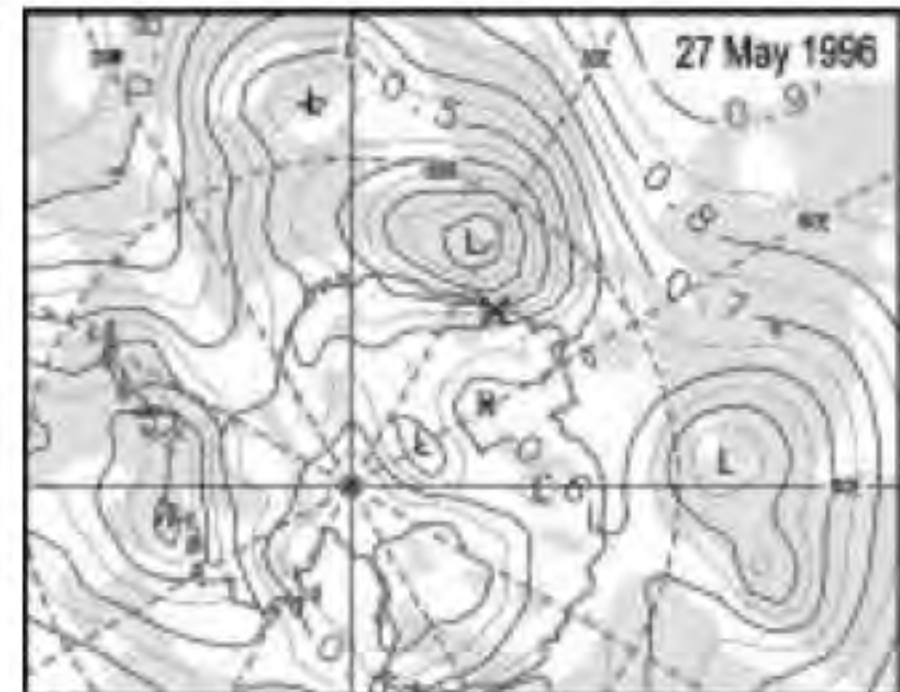
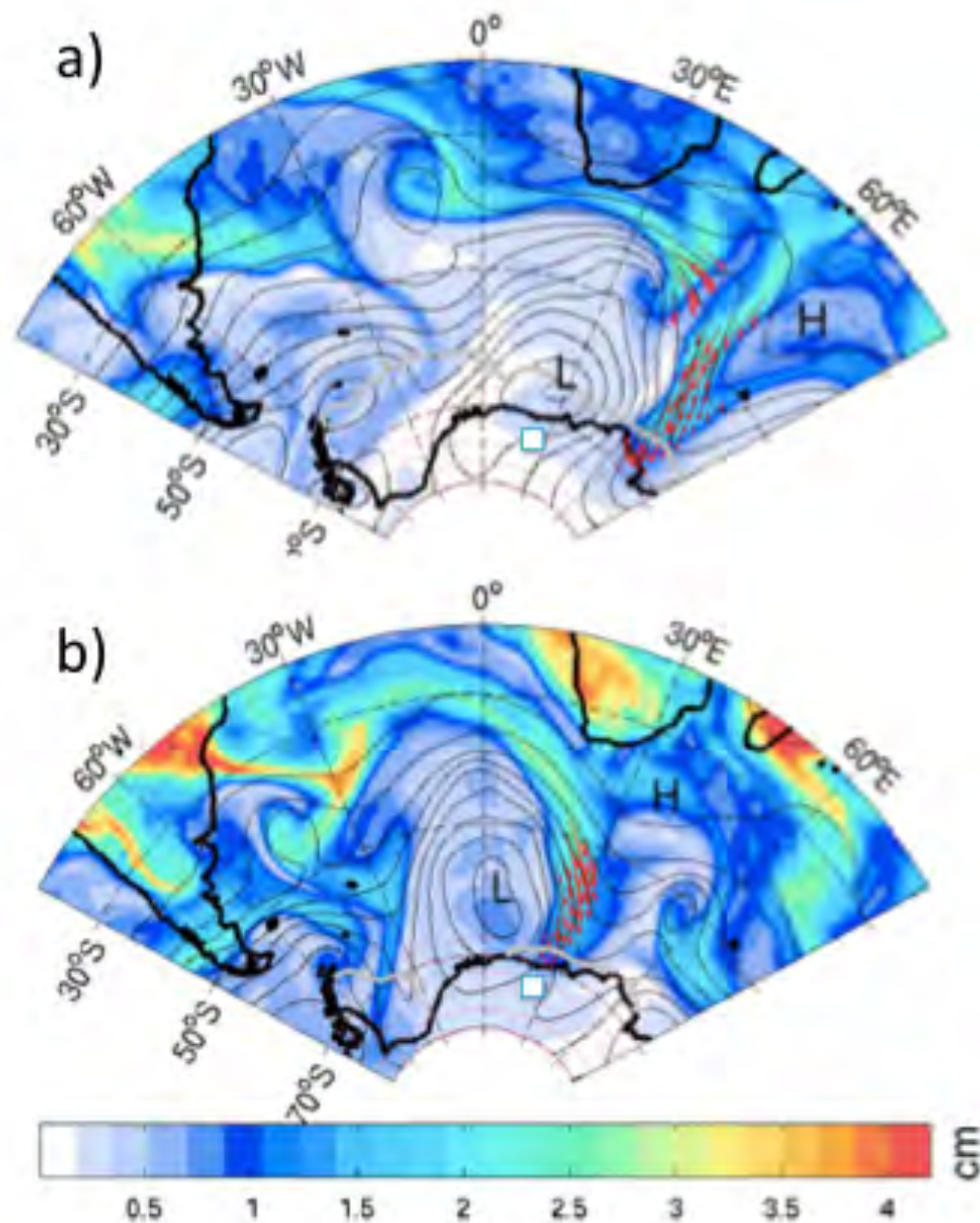
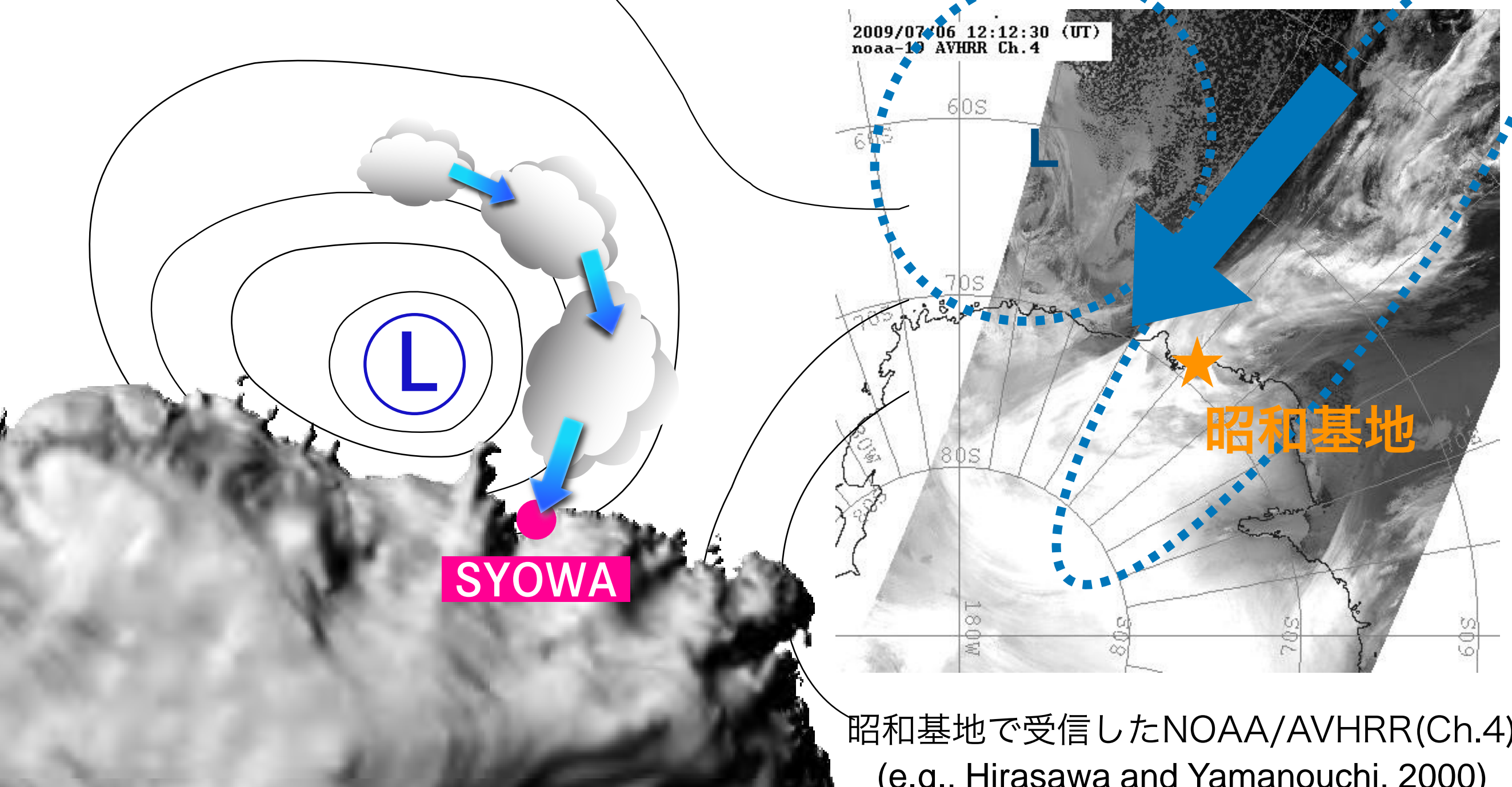


Fig. 11 : A contour map of geopotential height (in km) at 925 hPa when the fastest gust wind of 61.2 ms^{-1} was recorded at Syowa Station (X). A strong cyclone is situated around 65°S to the northwest of Syowa Station. Shaded are the regions with relative humidity larger than 80% (Sato and Hirasawa, 2004).

降雪時における high-top cloud(HTC)



総観規模擾乱の前方に背の高い雲が連なり、極方面に海上から直接水蒸気が輸送される場合に多雪イベントが発生することが多い. この背の高い雲をHTCと名付け、自動識別するCNNを構築した (Suzuki et al., 2021).

Aerosol Atmospheric River (AAR)とは

Chakraborty et al.(2021)ではMERRA-2を用いて integrated aerosol transport (IAT, $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$) を算出し, 各エアロゾル輸送のU, V成分を出力している. ARの導出アルゴリズムと似たアルゴリズムによって, AARを検出する手法を提案した.

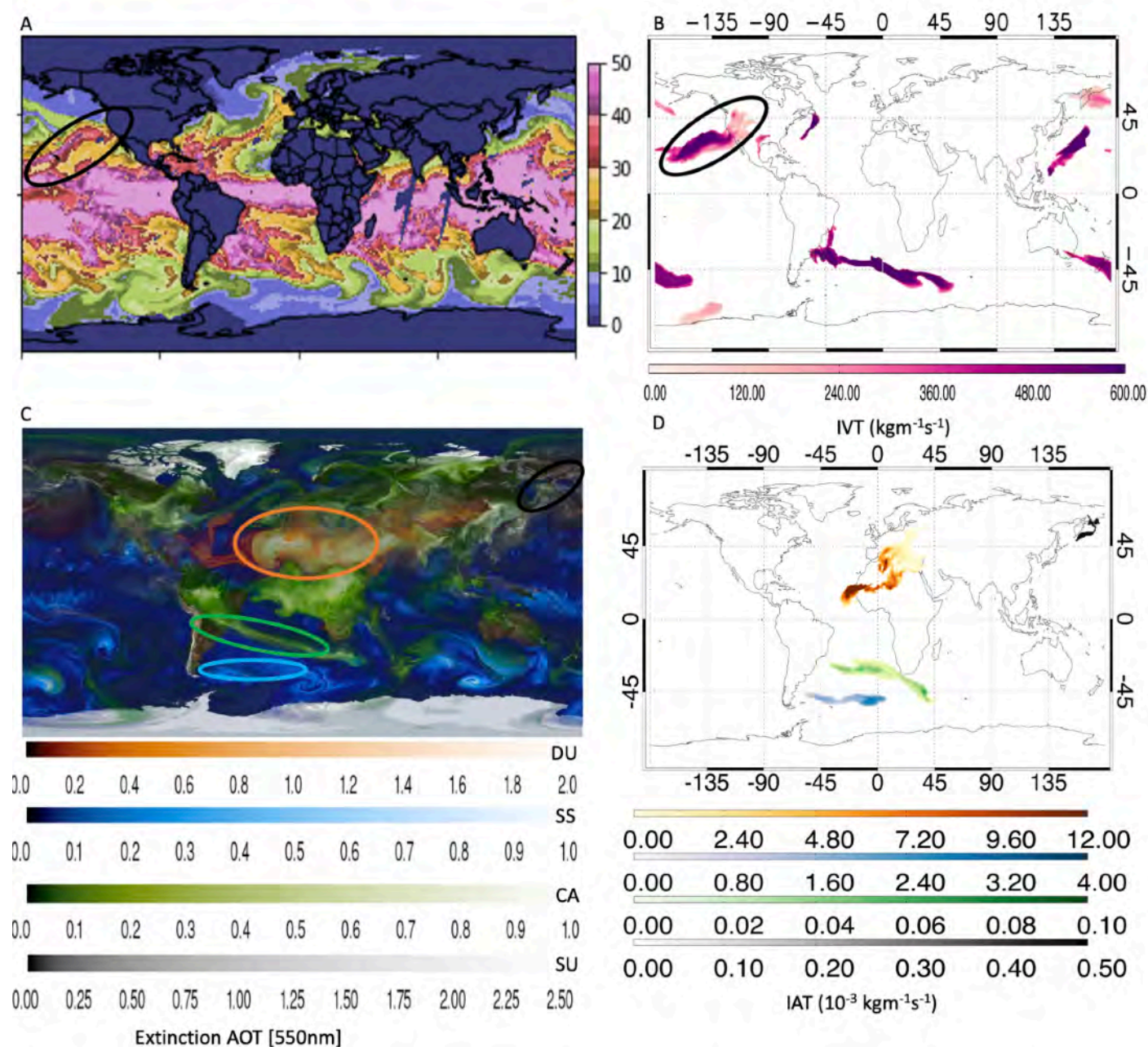


Fig.1

ARとの違いは…

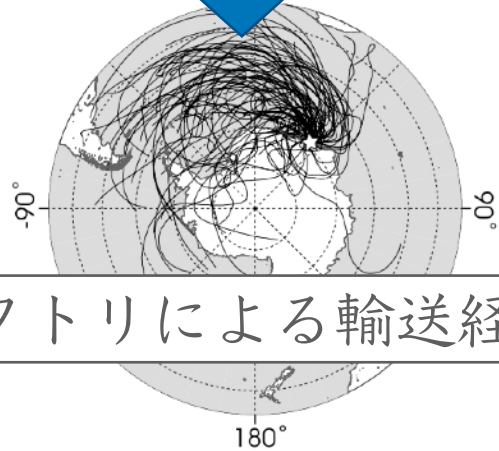
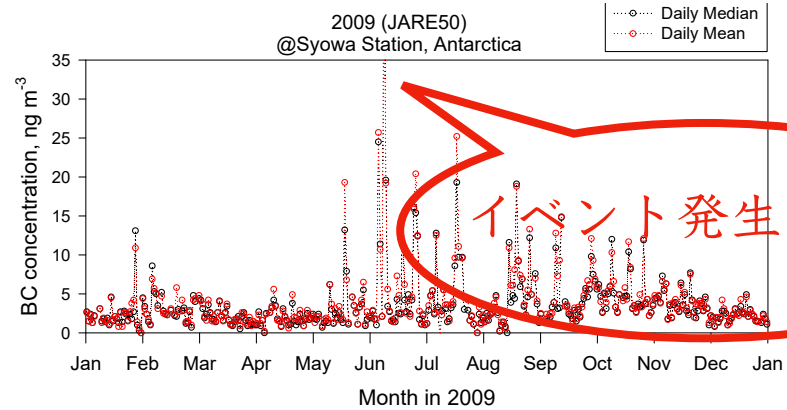
AR: 子午面方向の質量フラックスを閾値として扱う

AAR: 全質量フラックスを閾値として扱う

ARは主に極方向の湿度勾配が重要であるが, AARは全方向への輸送が可能であるためである.

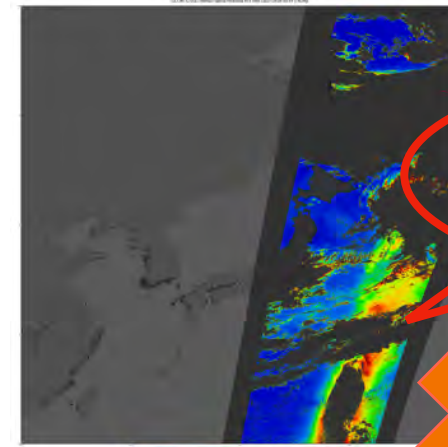
研究のねらい

これまで



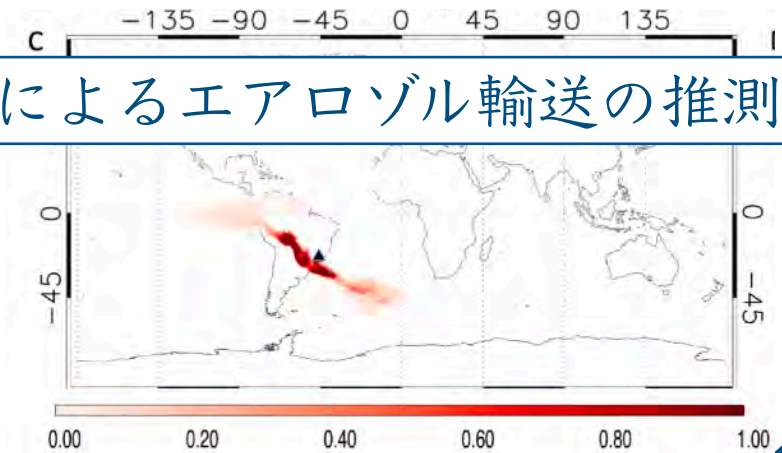
トラジェクトリによる輸送経路の推定

本研究



イベント発生
(オンタイム)

学習器によるエアロゾル輸送の推測

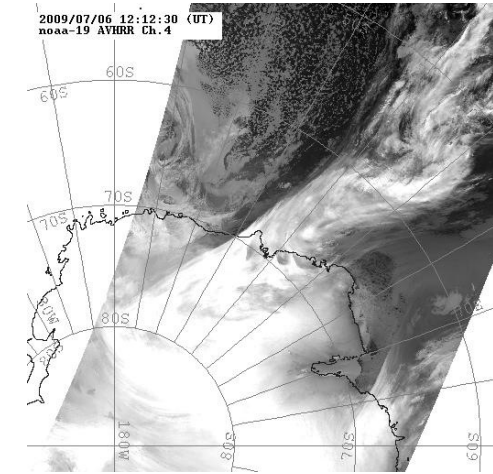
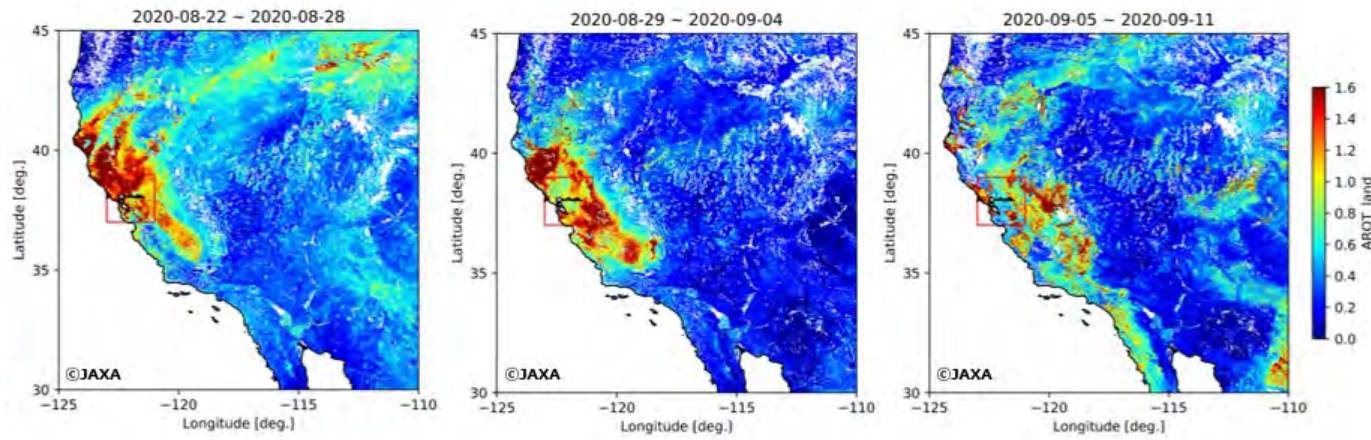


引用元：昭和基地BC濃度, Suzuki et al., 2008, しきさい「エアロゾル光学的厚さ」, Chakraborty et al., 2021

Aerosol Atmospheric Riverの検出

衛星観測によるエアロゾル濃度(イベント例)

衛星観測による雲画像

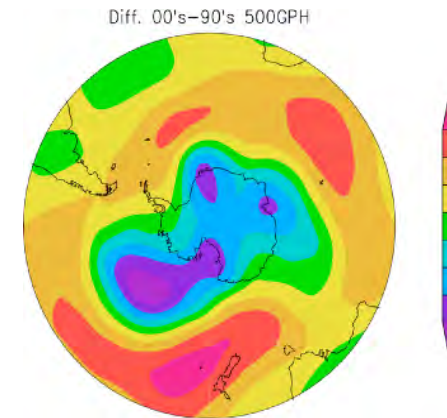
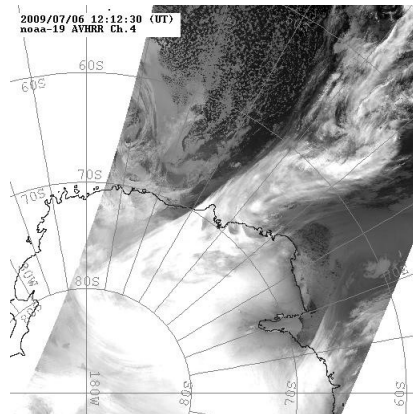


(<https://www.eorc.jaxa.jp/earthview/2020/tp200928.html> より引用)

輸送の学習

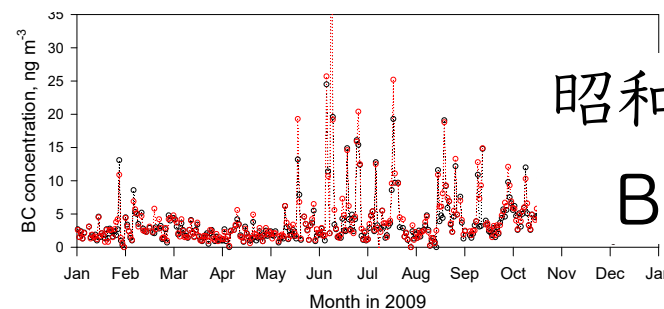
衛星観測による雲画像

客観解析気象データ



反復

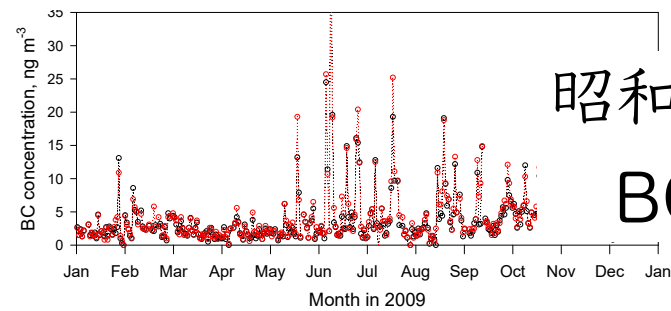
Ground Truth



昭和基地で観測された
BC, CO, 鉍物濃度

-南極氷床上-

Ground Truth



昭和基地で観測された
BC, CO, 鉍物濃度

NHM-SMAPによる南極氷床上の輸送・沈着

- ・ NHM-CHMと結合したエアロゾル輸送の追従
- ・ 積雪中の濃度やその後について予測

南極観測で採取

- ・ (できれば)X期で現地表面積雪のサンプリング
- ・ 分析結果から輸送メカニズムの推定へ

将来的にグリーンランド氷床にも展開

参加メンバー

総括：鈴木

輸送メカニズム：鈴木・山内・富川

画像解析・機械学習：徳永・中村

現地観測(物質)：原・後藤・青木^輝 小林

現地観測(雪)：平沢・本山・木名瀬

領域モデル：庭野

衛星観測：島田

雲画像提供：Lazzara (ウィスコンシン大)

研究目的と今日の話

これまで行ってきたARによる水蒸気輸送だけではなく、陸起源と考えられる大気中微量物質の輸送も同時に捉え、大気による物質輸送過程を機械学習による予測モデルを構築することを目指す。

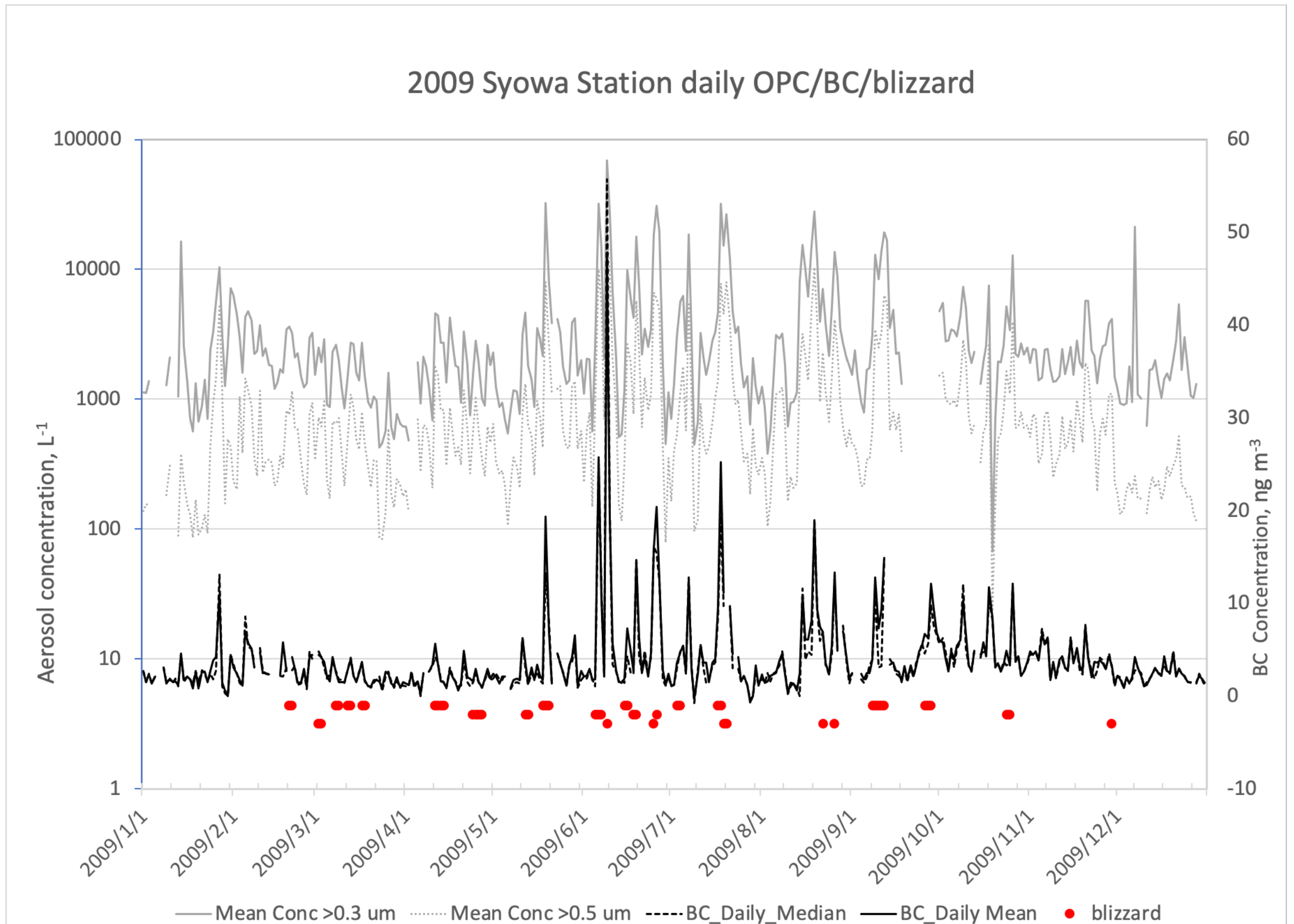
まずは、ARとエアロゾル輸送の関連について2009年のブリザードイベントについて調べた。

2009年では、ブリザードと観測された回数が多く(約30例)、降雪量も多かったという報告があり、降雪イベントとARの関連性について調べる上で適しているため、ターゲットとしている。エアロゾル輸送に関しては特出したイベントはない。

解析対象データ(すべて2009年)

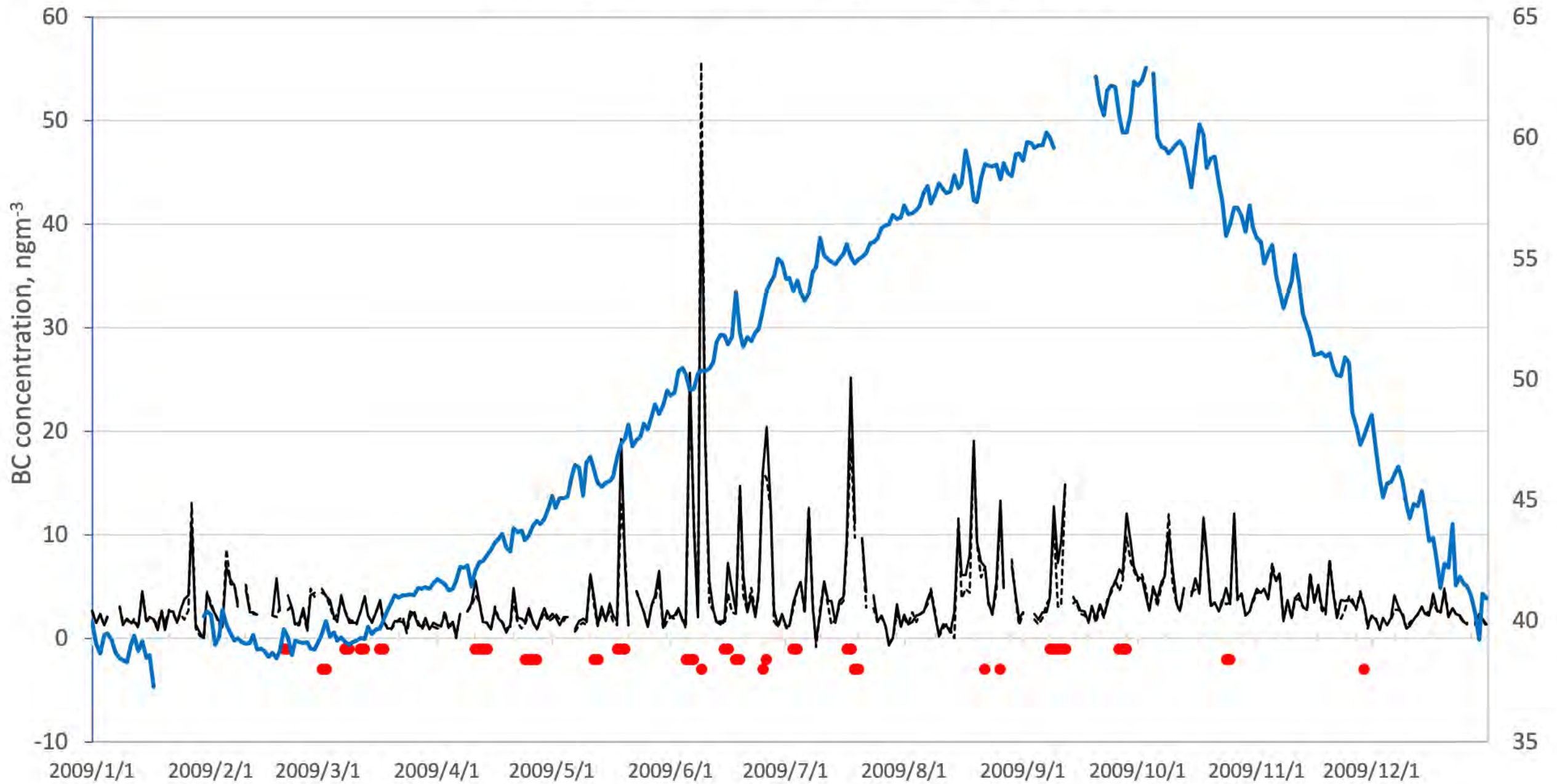
- 現地観測データ (昭和基地)
 - 粒子サイズ別濃度・ブラックカーボン濃度 日平均値
 - 一酸化炭素濃度 日平均値
 - ブリザード記録
- NOAA/AVHRR ch.4
観測前後6時間以内の画像を結合させたものを利用
- ERA-5(500hPa, 850hPa)
 - Geopotential
 - U-wind, V-wind
 - snowfall
- トラジェクトリ解析(NITRAM, ERA-Interim)
粒子高度：500hPa,
始点：昭和基地(南緯69度, 東経39度)から5度ずつずらした地点
7日間の後方流跡線を計算

エアロゾル濃度の変化とブリザード(OPC/BC)



エアロゾル濃度の変化とブリザード(CO/BC)

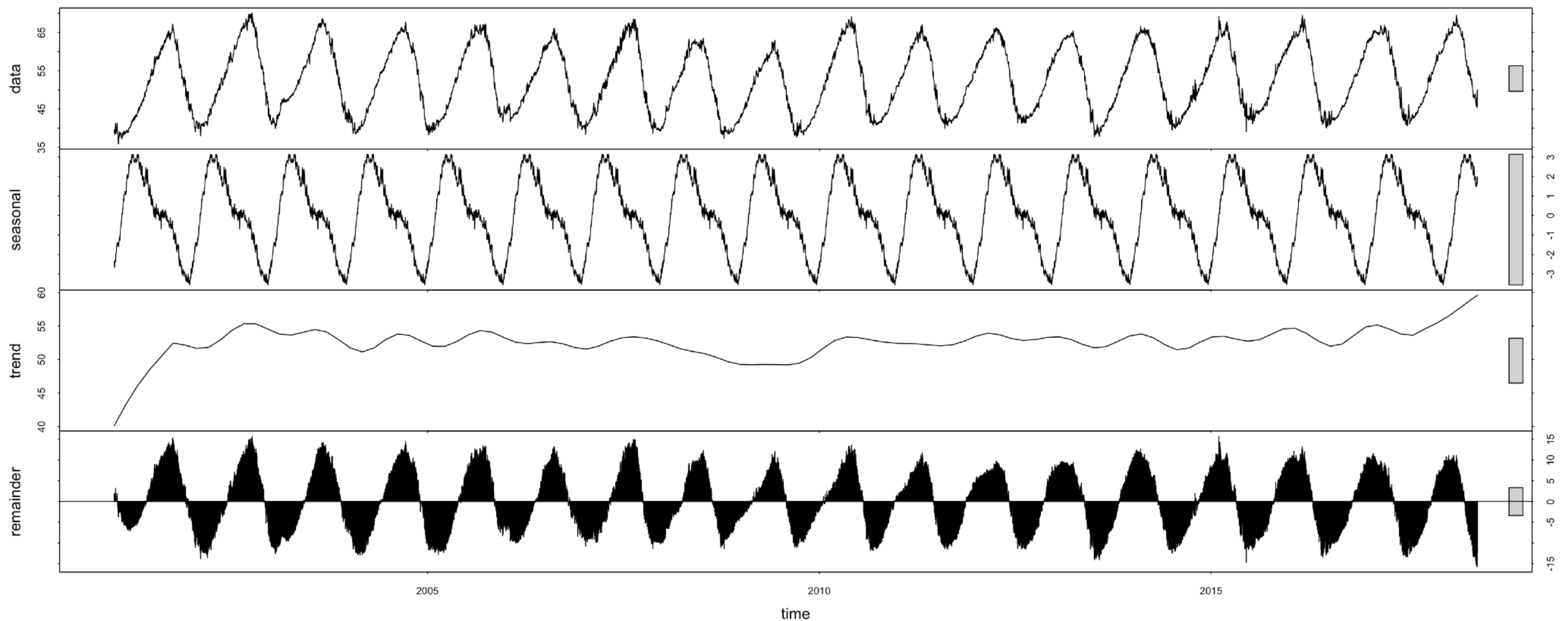
2009 Syowa Station daily CO/BC/blizzard



-----BC_Daily_Median — BC_Daily Mean • blizzard — CO(ppb)

COデータから季節変動・トレンド成分を除去

2001年1月から2018年12月までのCO濃度に対してloess関数による季節，トレンド，不規則成分への分解結果を示す。



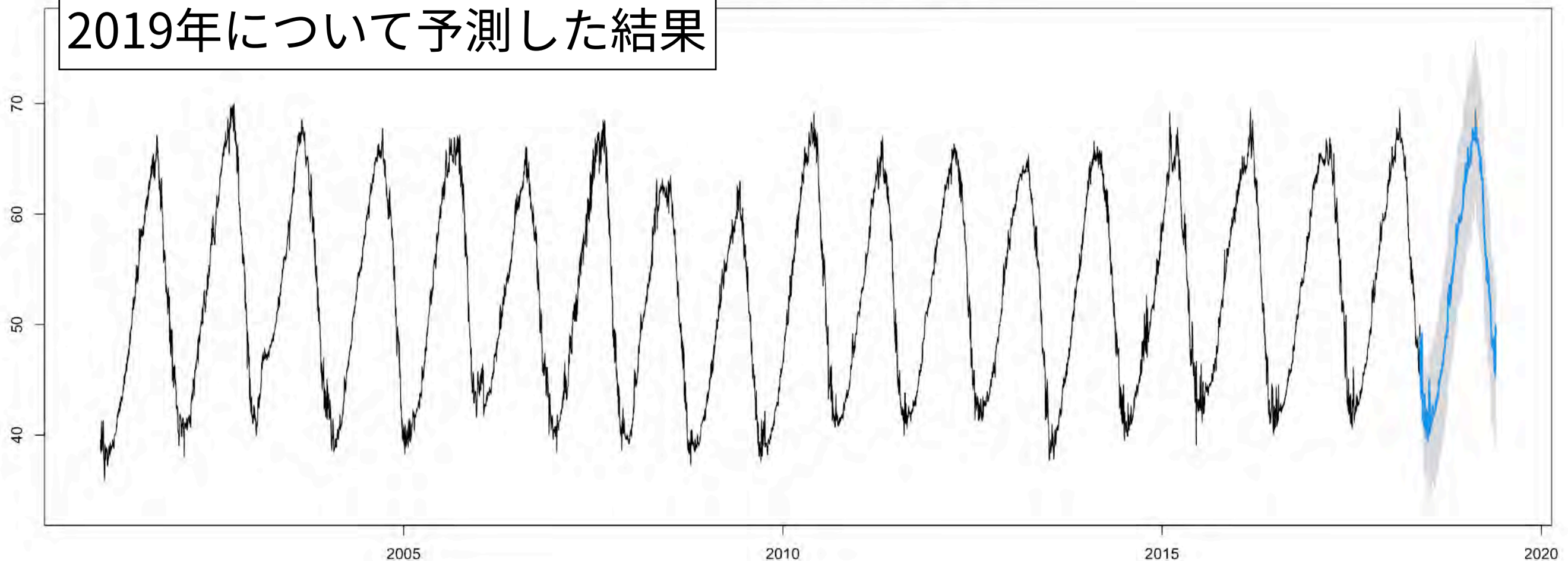
季節変動とトレンド成分を分解できたので，それぞれをパラメータとして表現できるSARIMAモデルを用いて，残差成分(イベント)を推定する。

SARIMAモデルによるCOの予測と残差の推定

SARIMAとはSeasonal AutoRegressive Integrated Moving Averageの略で、季節的な周期パターンもパラメータとして扱うことの出来る自己回帰モデルである。すなわち、自己回帰モデルとして予測された値からの差(残差)をイベントによる増減という仮定をすることで、イベントの抽出を行った。

Forecasts from ARIMA(1,0,2)(0,1,0)[365]

2019年について予測した結果



SARIMAモデルによるCOの予測と残差の推定

SARIMA(p,d,q) × (P,D,Q)_s モデル

$$\phi(L)\Phi(L^S)(1-L)^d(1-L^S)^D y_t = m + \theta(L)\Theta(L^S)\varepsilon_t \quad (t = 1, 2, \dots, T)$$

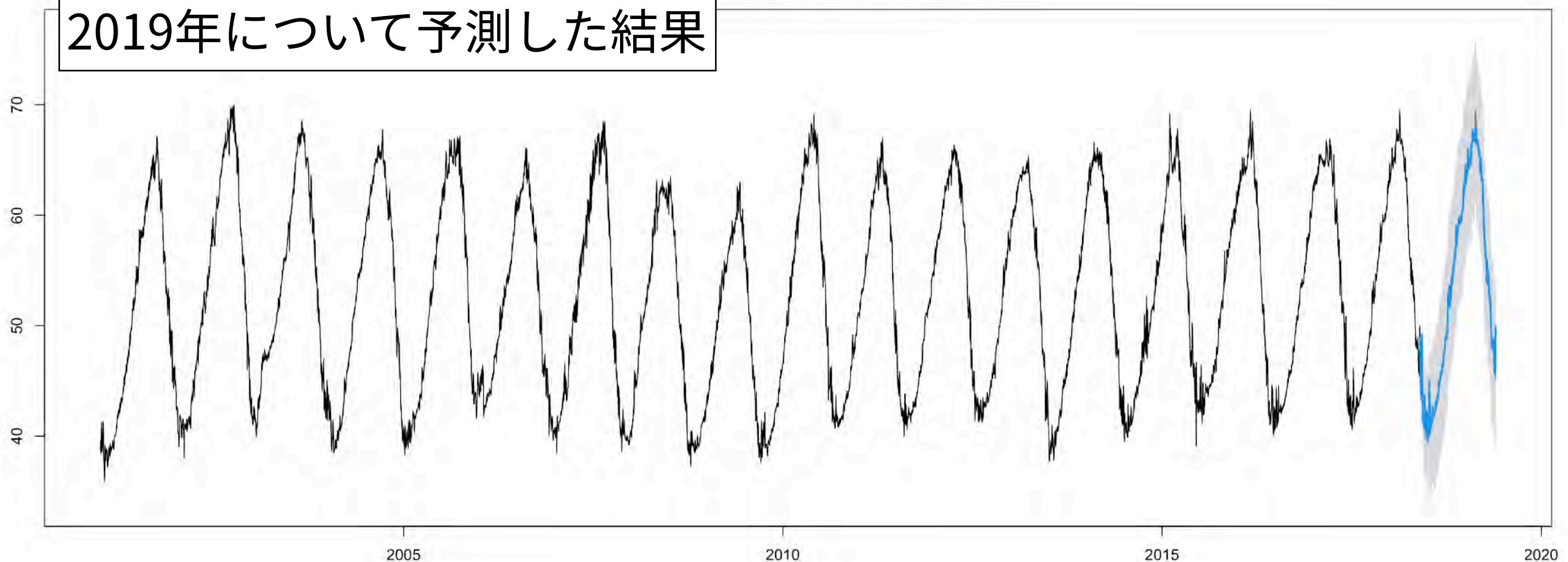
$$\Phi(L^S) = 1 - \Phi_1 L^S - \Phi_2 L^{2S} - \dots - \Phi_P L^{PS}$$

$$\Theta(L^S) = 1 - \Theta_1 L^S - \Theta_2 L^{2S} - \dots - \Theta_Q L^{QS}$$

パラメータ推定にはAICを用いて、今回は
(p,d,q)(P,D,Q)=(1,0,2)(0,1,0)が最適解であると判断した。

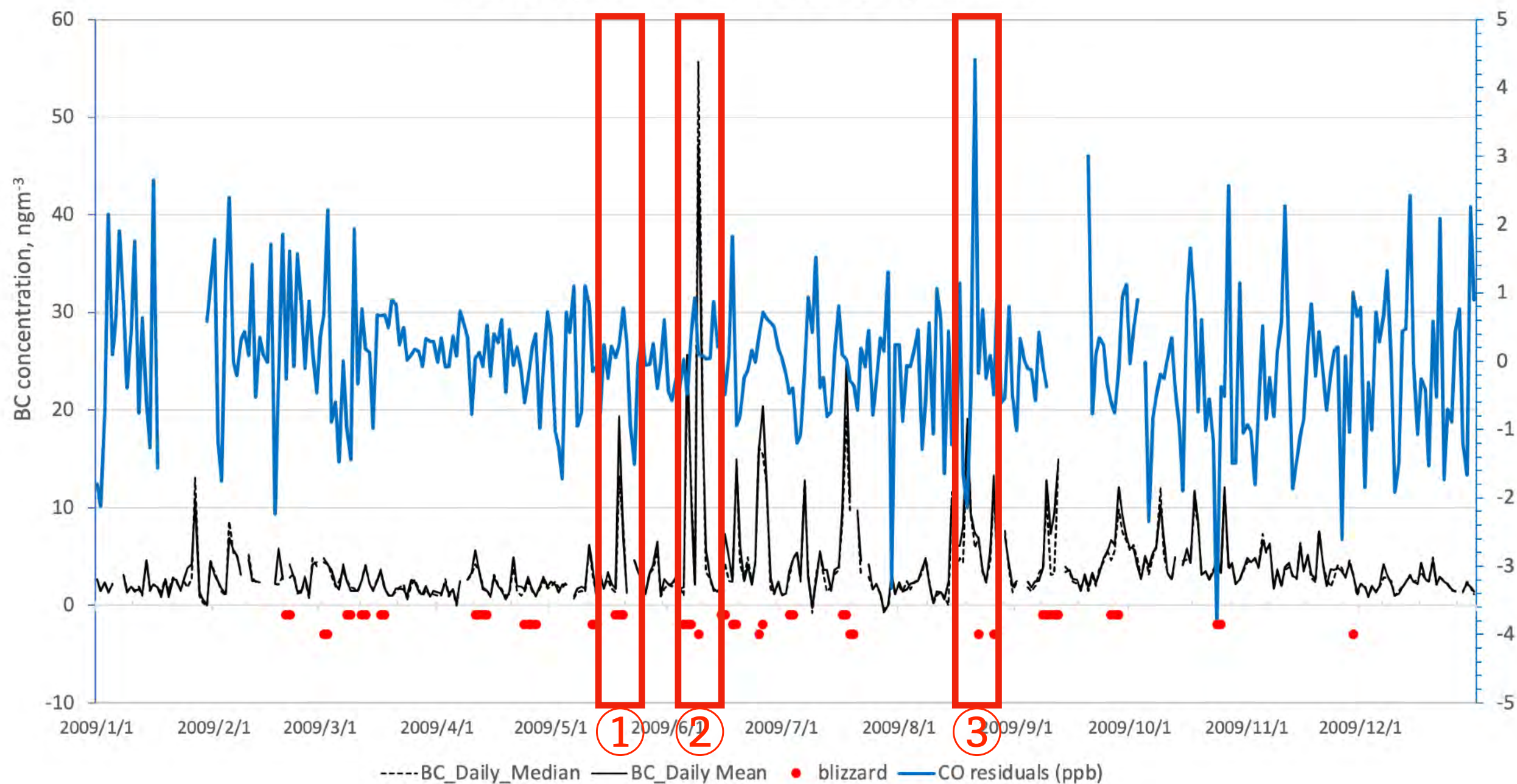
Forecasts from ARIMA(1,0,2)(0,1,0)[365]

2019年について予測した結果



エアロゾル濃度の変化とブリザード(CO/BC)

2009 Syowa Station daily CO/BC/blizzard

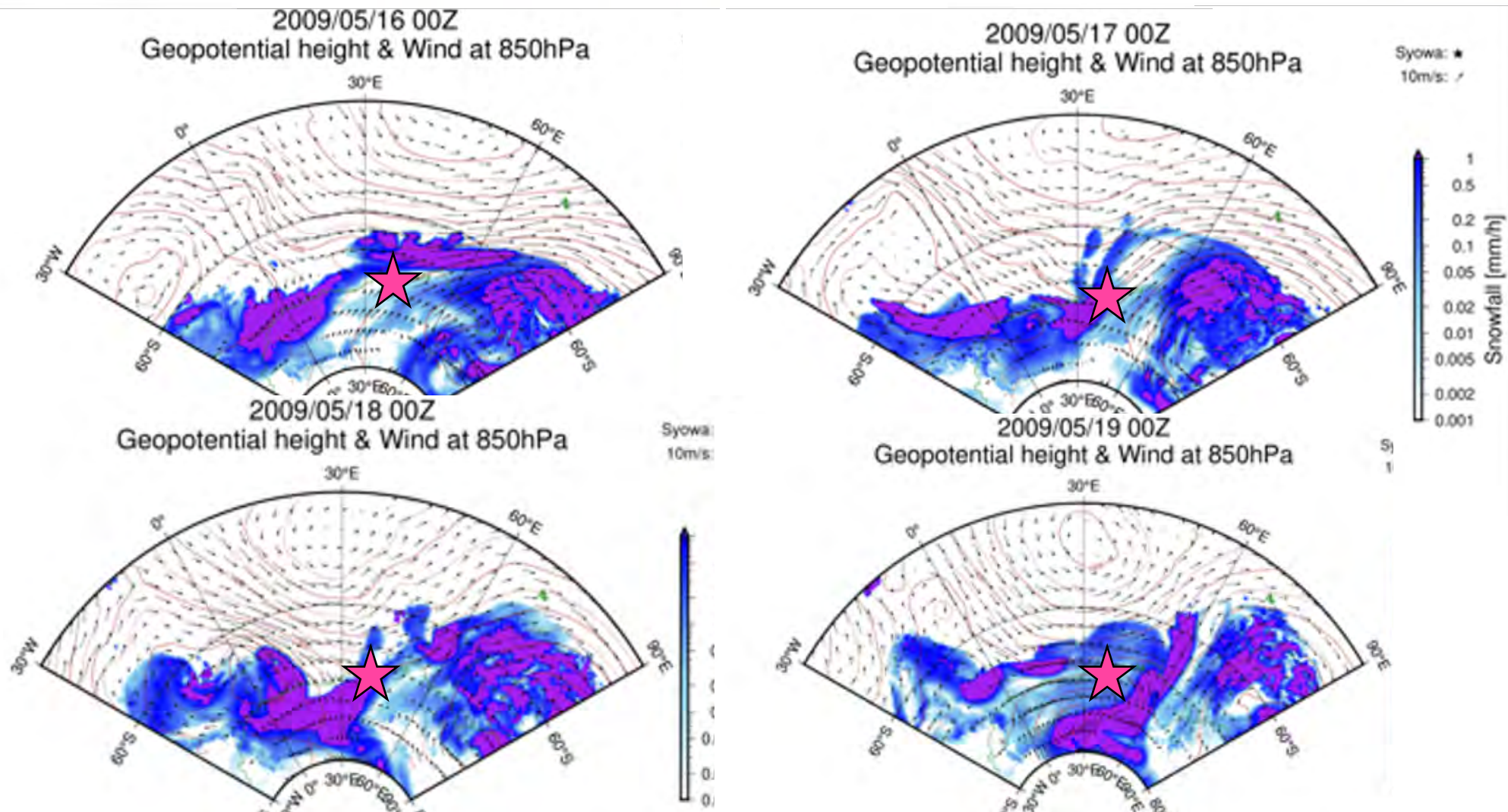
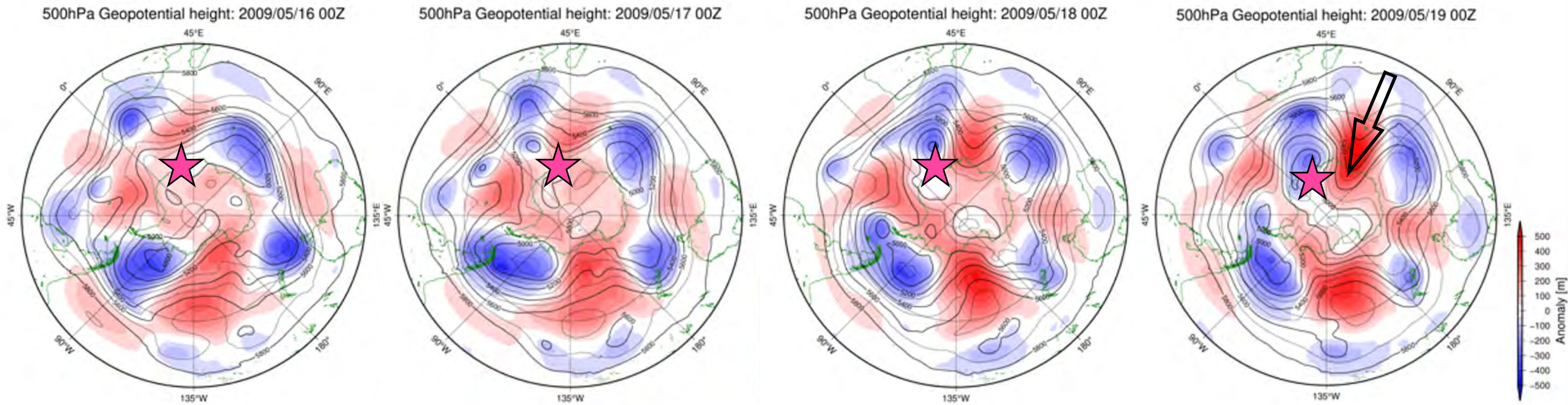


残差からイベント抽出を行えるように処理が完了した。

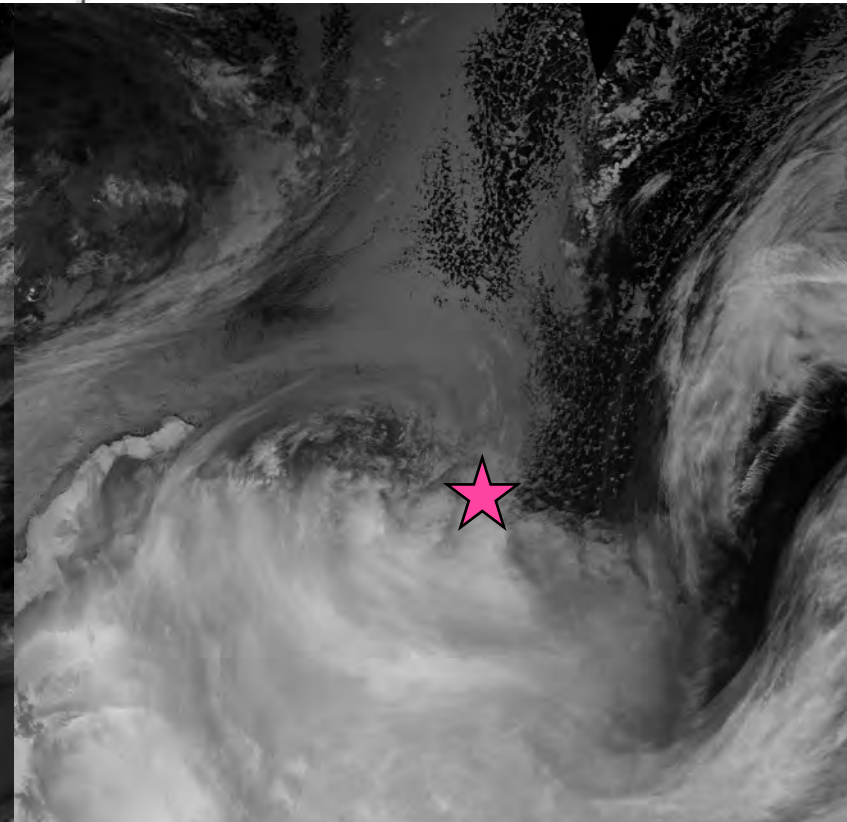
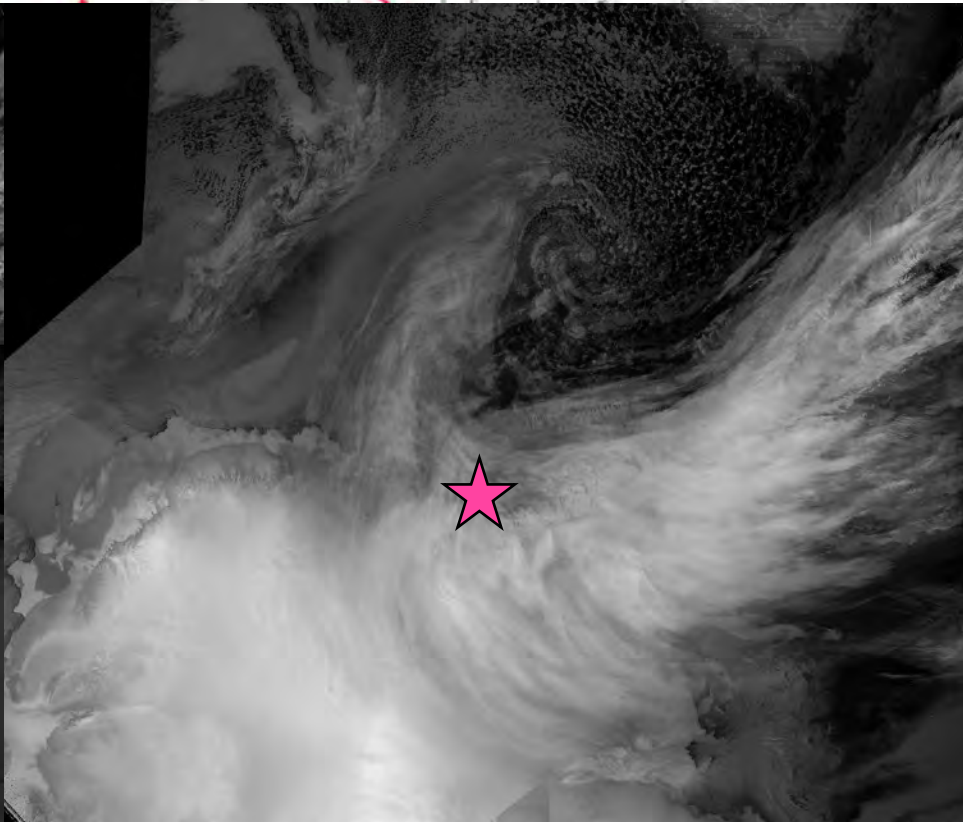
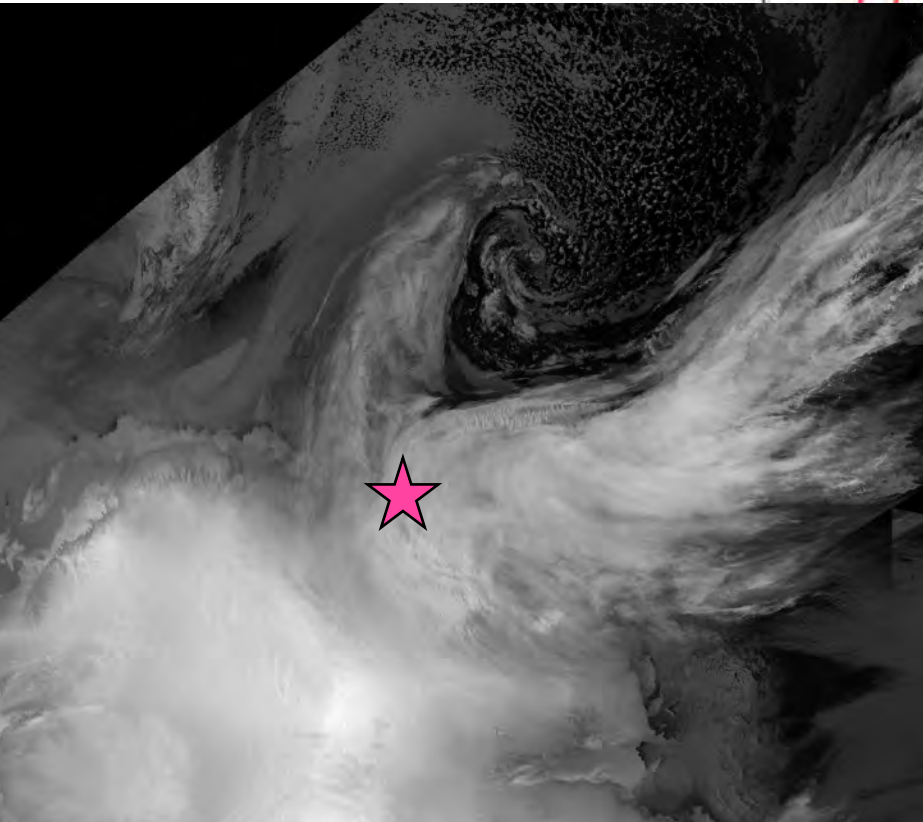
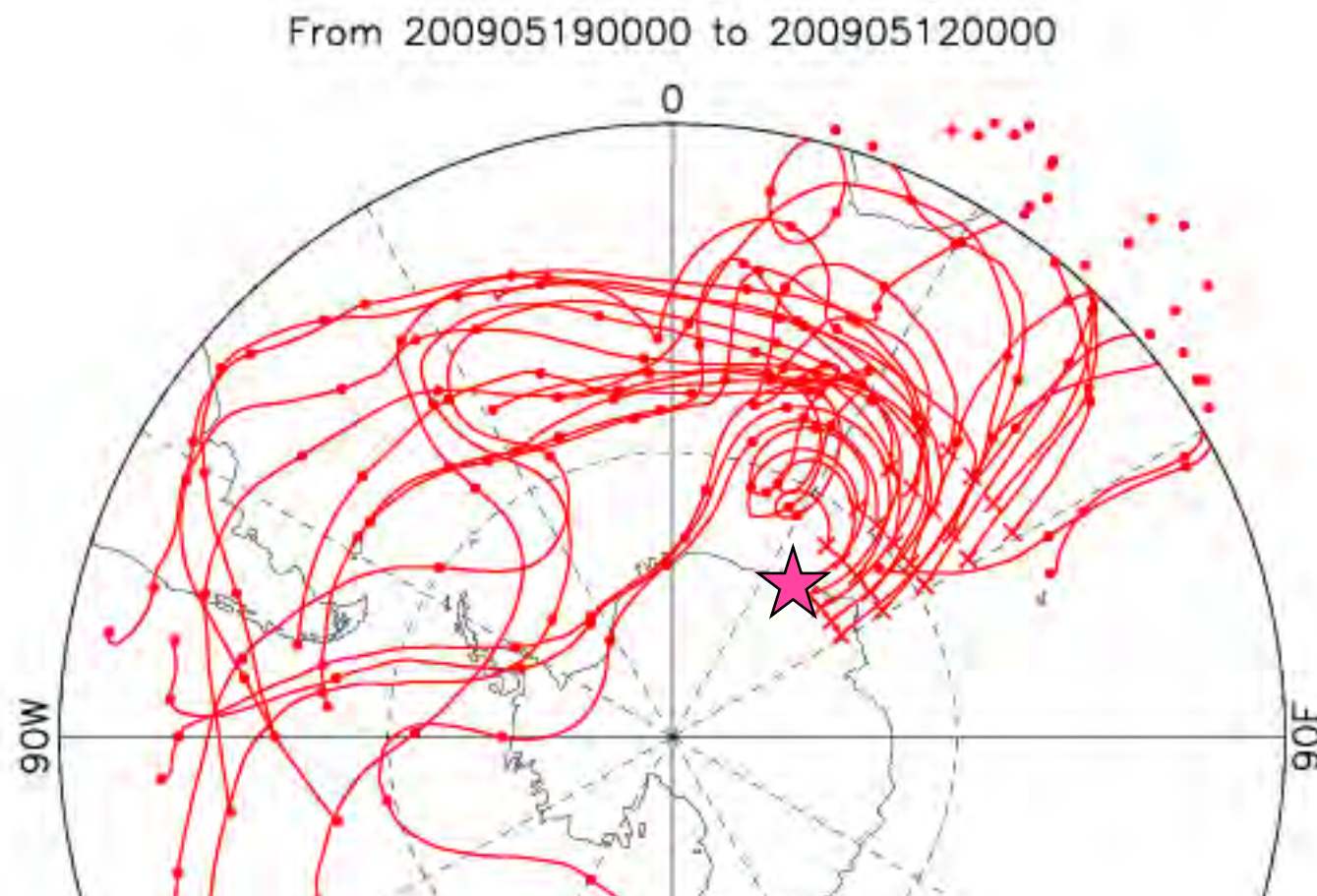
ここで、ブリザート(AR)イベントのうち、以下について調べた。

- ① BC, CO共に増加
- ② BCが特に増加
- ③ COのみ増加

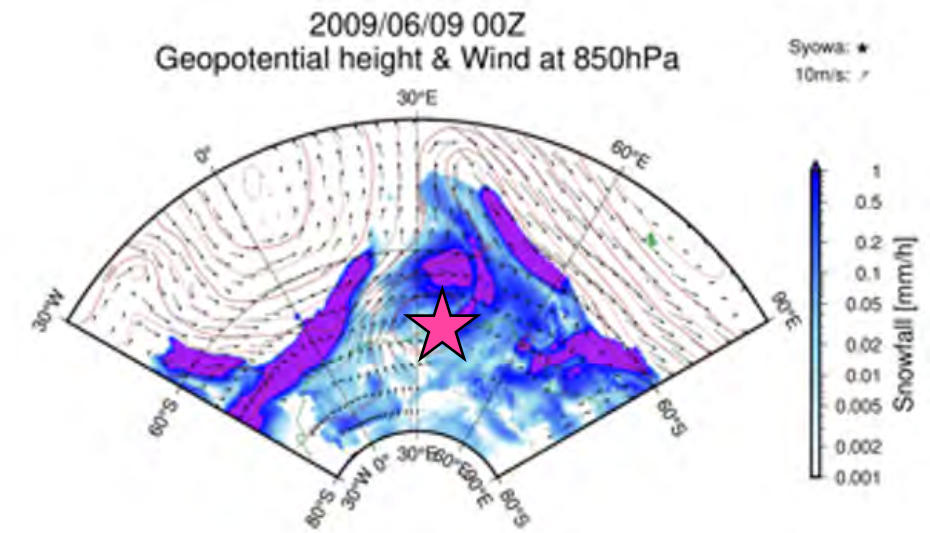
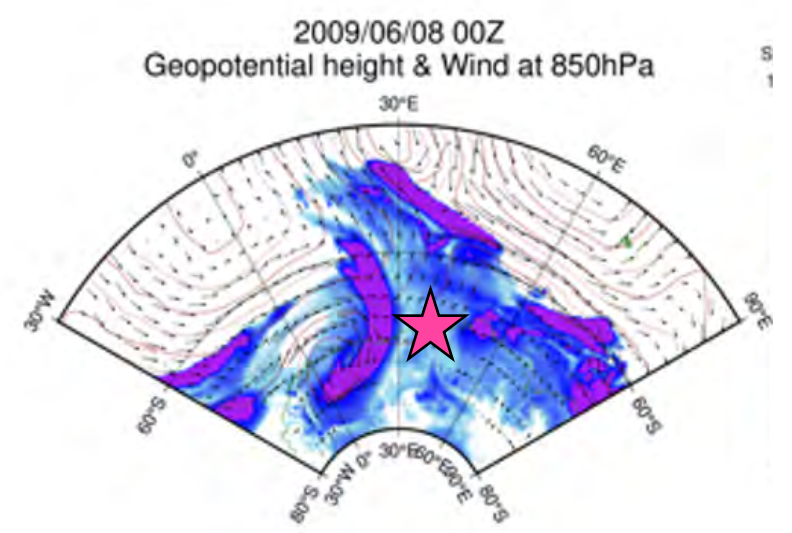
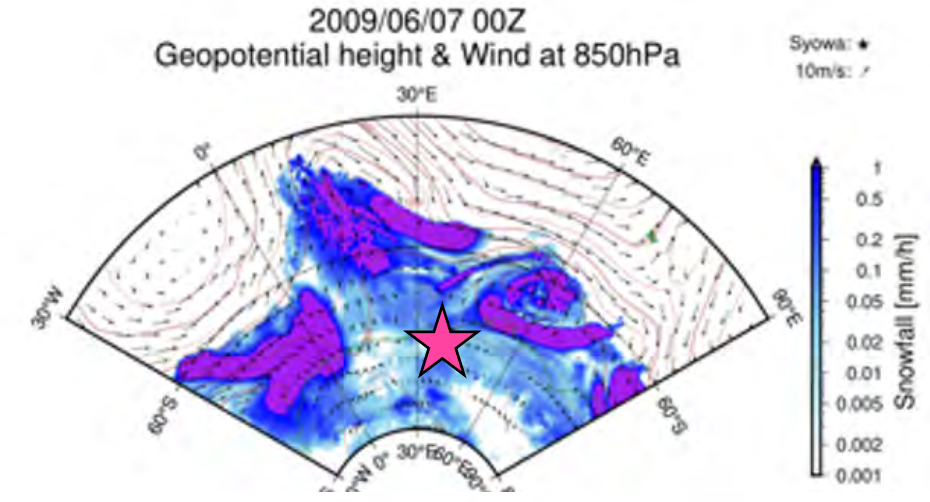
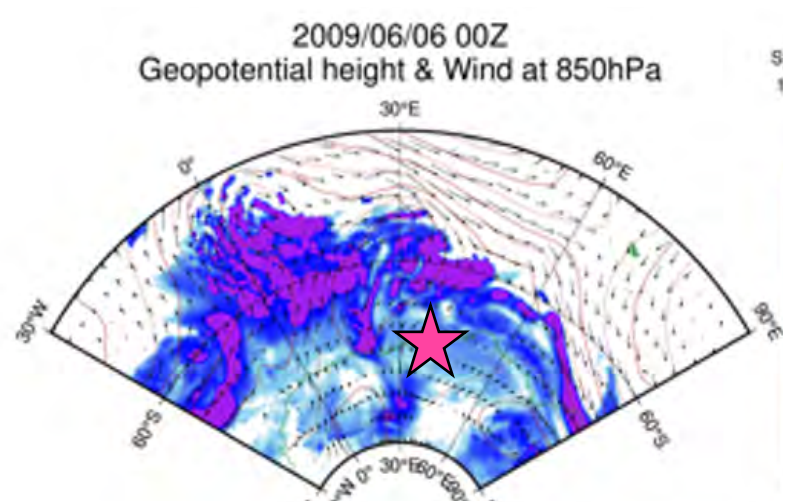
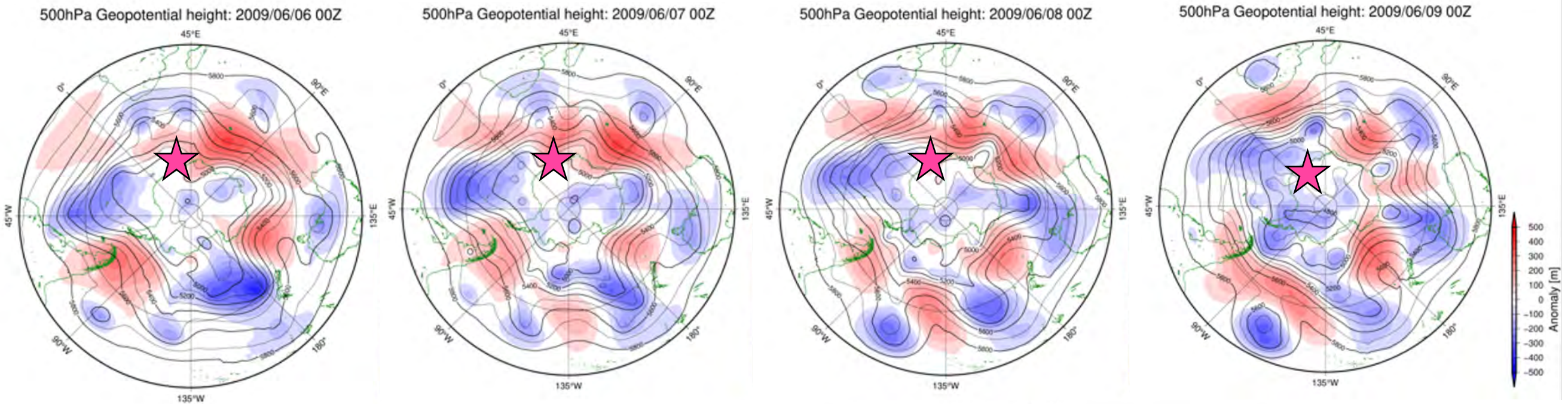
① BC, CO共に増加する場合 (2009/05/19, A級)



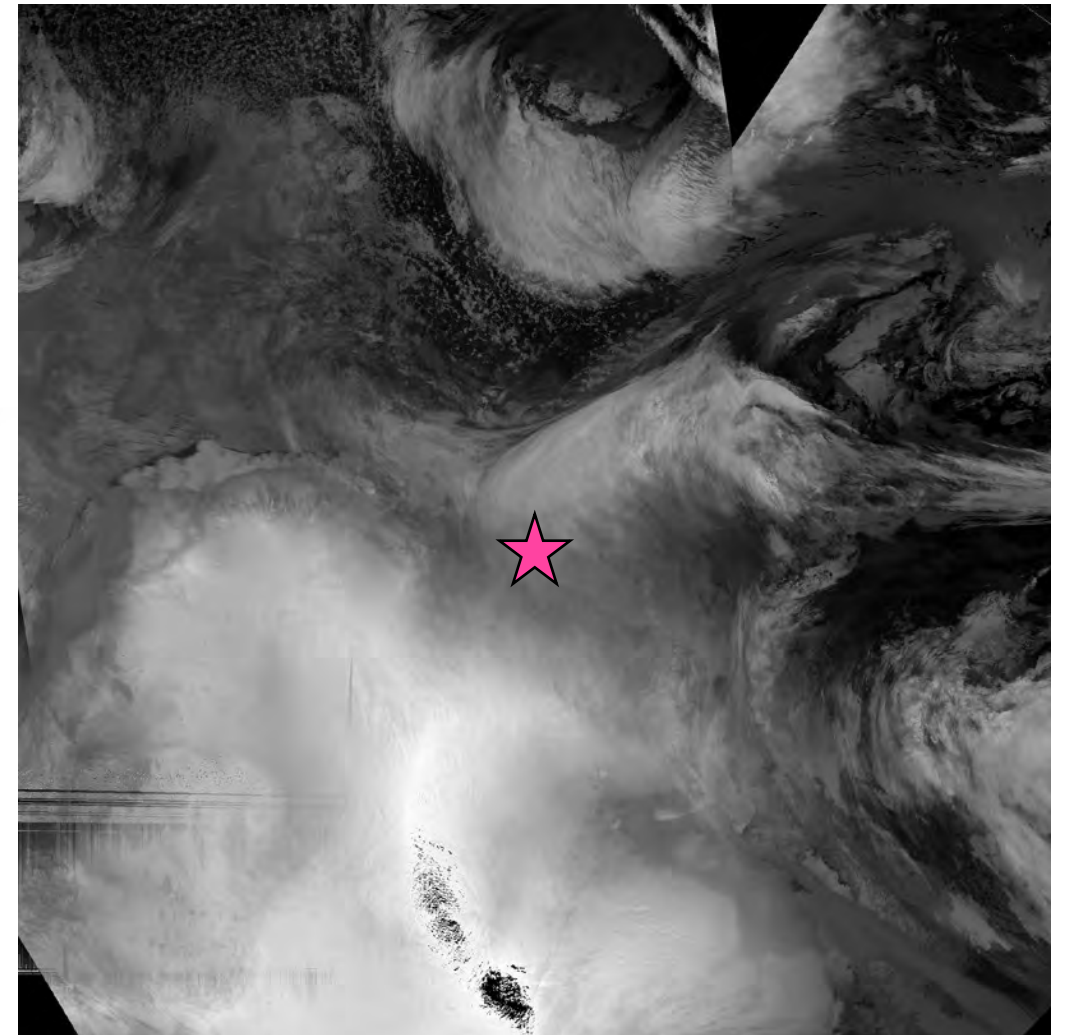
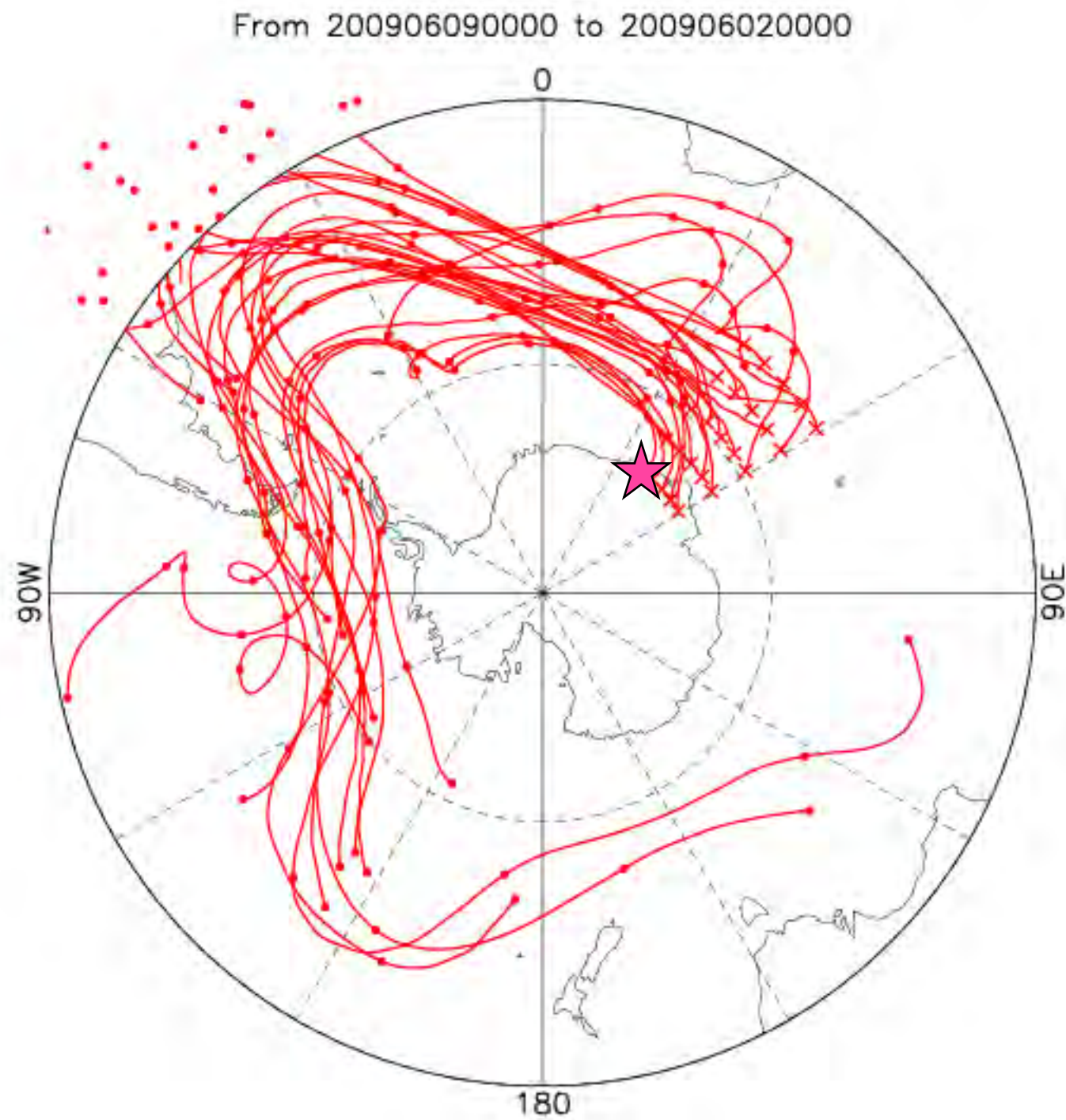
① BC, CO共に増加する場合 (2009/05/19, A級)



②BCが特に増加する場合 (2009/06/09, C級)

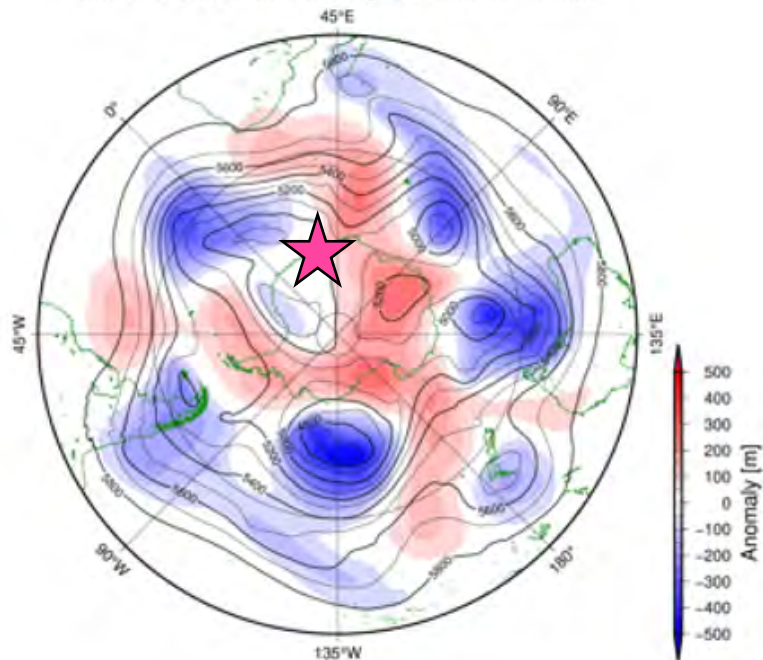


②BCが特に増加する場合 (2009/06/09, C級)

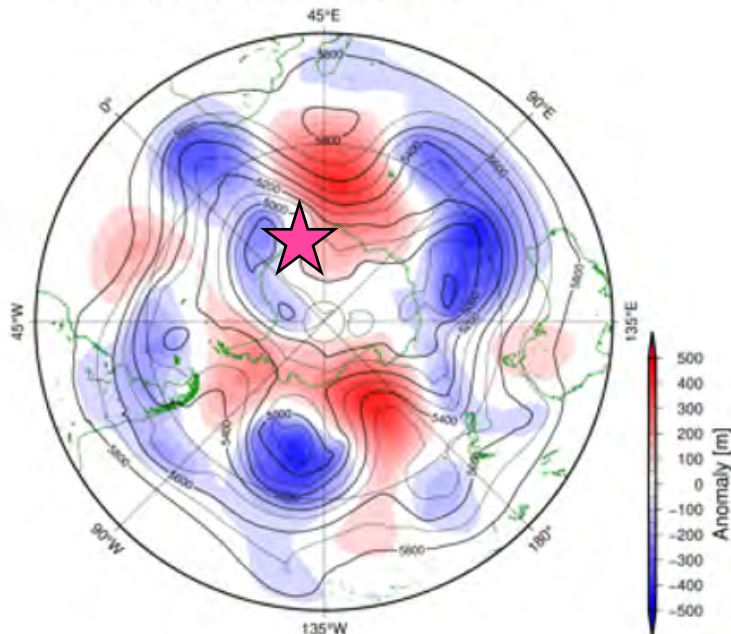


③COのみ増加する場合 (2009/08/21, C級)

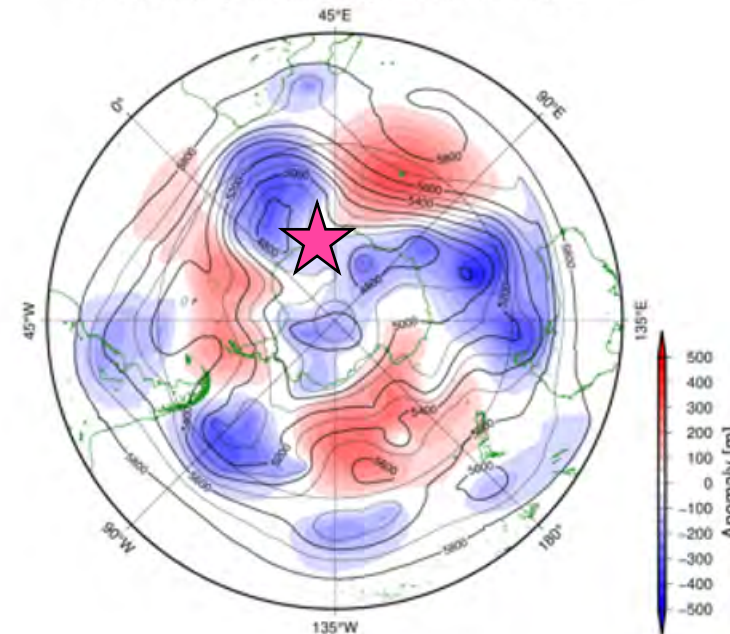
500hPa Geopotential height: 2009/08/16 00Z



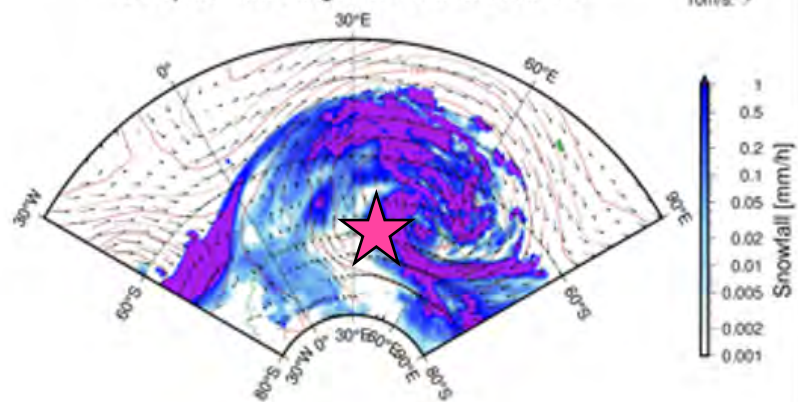
500hPa Geopotential height: 2009/08/18 00Z



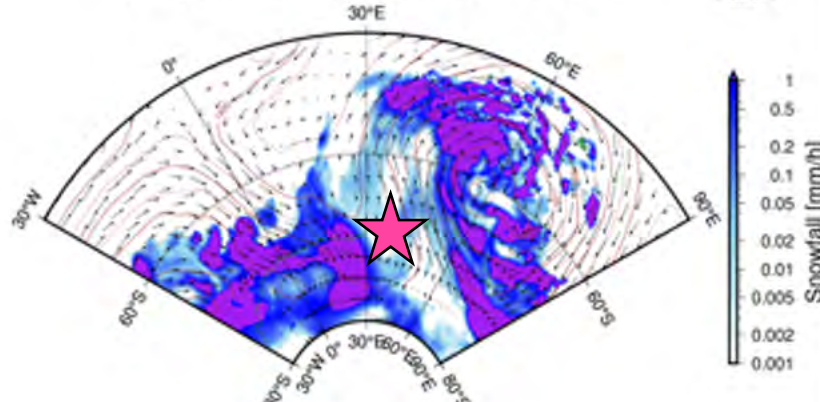
500hPa Geopotential height: 2009/08/21 00Z



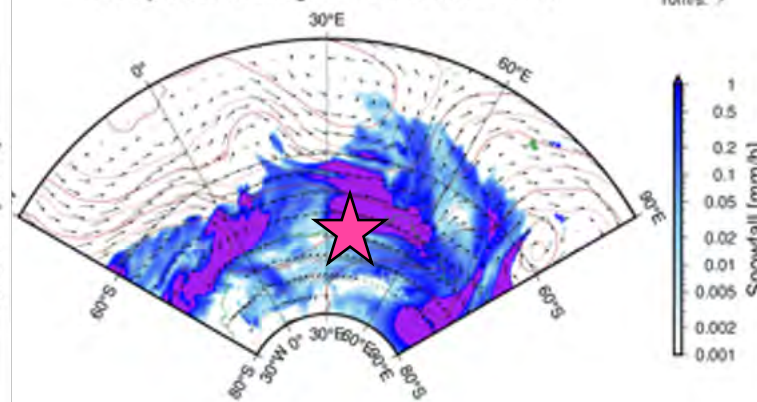
2009/08/16 00Z
Geopotential height & Wind at 850hPa



2009/08/18 00Z
Geopotential height & Wind at 850hPa

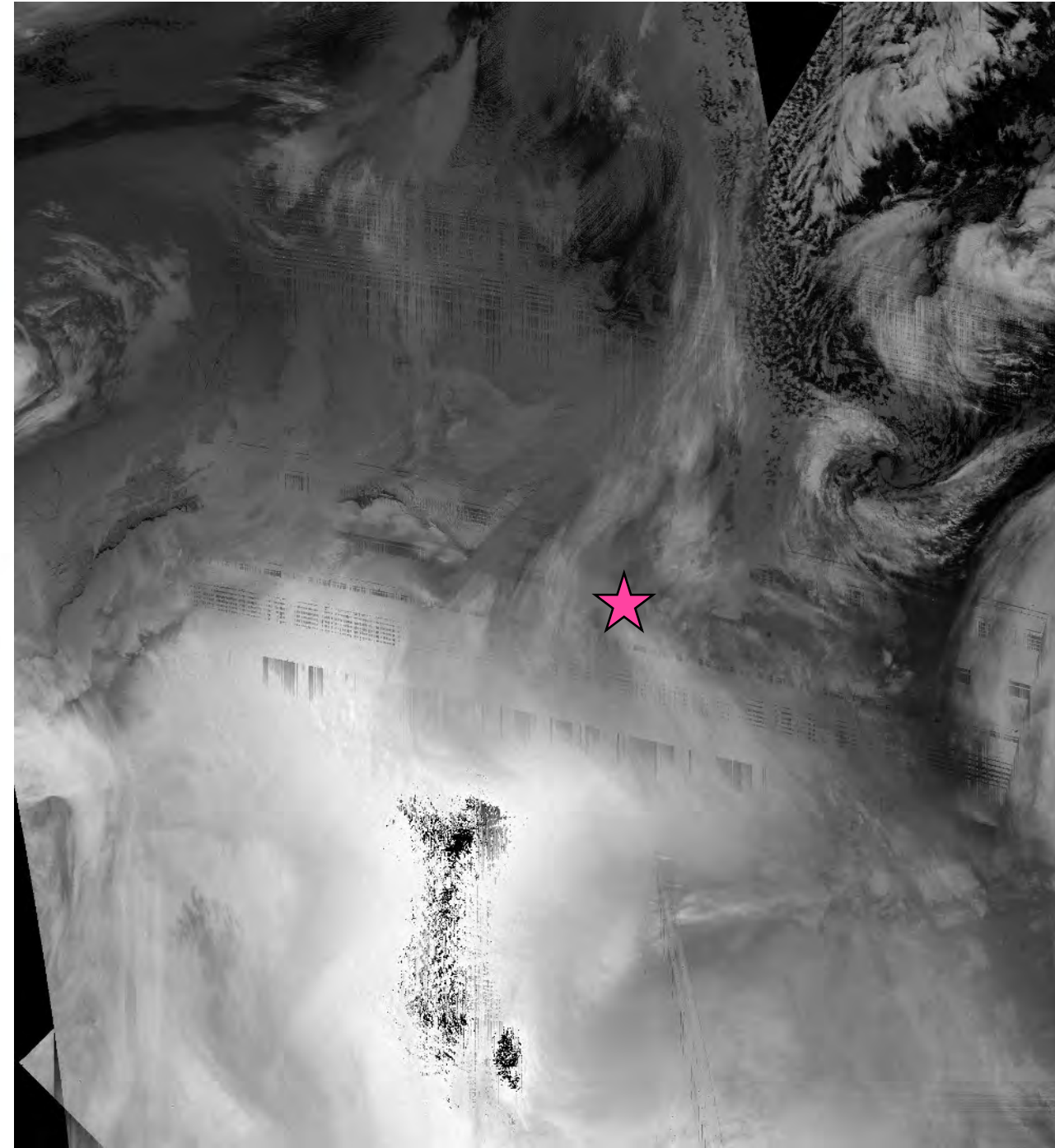
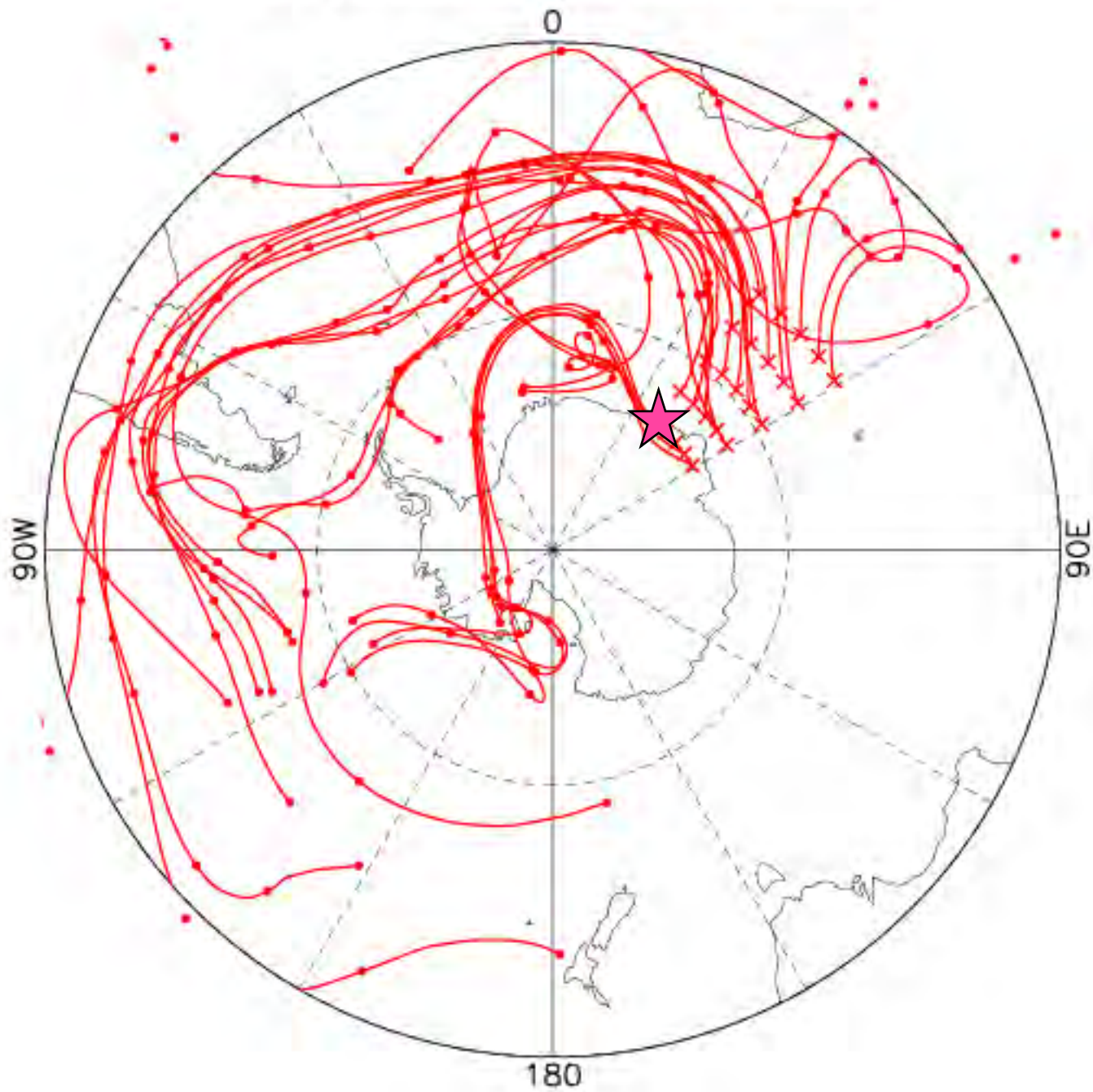


2009/08/21 00Z
Geopotential height & Wind at 850hPa



③COのみ増加する場合 (2009/08/21, C級)

From 200908210000 to 200908140000



南極・昭和基地で観測されたCO, BCの変動とARとの関係

2009年におけるデータ解析結果をまとめると…

まず、COデータには季節変動成分が多く含まれるため、SARIMAによる予測からの残差をイベントとして扱うこととした。

増加イベントを調べた結果、

- COとBCが同時に増加する場合
 - それぞれ単独で増加する場合
- があった。

BCが特に輸送される時には南極外からの長距離輸送。

COのみ輸送される場合には、南極起源という背景場がみられた。

雲画像からイベント時にARとみられる雲がみられ、AARを捉える上でCO, BCはよい指標になることが予想される。

今後の研究計画

- 輸送モデルの開発

- NITRAMにパーティクルフィルタの実装 (鈴木・富川)
- 客観解析気象データ(ERA-5)を用いた大気輸送経路の算出 (富川)
- エアロゾル輸送予測の学習器作成 (鈴木, 中村)

- エアロゾル増加イベントの検出

- 南極昭和基地において観測しているOPC/BC/CO濃度データ等, 大気中微量物質の時系列データ(原・小林・後藤データ提供)
- 北極域の物質観測データ(後藤データ提供)

- 衛星観測によるエアロゾル放出イベントの検出

- 人工衛星しきさいによるエアロゾル観測画像から検出(鈴木)
- 客観解析エアロゾルデータセットを補正的に利用
- 学習用教師データの半自動生成 (徳永)