平成 25 年度　卒業論文

秋雨前線帯の位置を決定付ける
日本周辺の海面水温
The placement of AKISAME front forced by SST front around Japan

三重大学　生物資源学部

共生環境学科　自然環境システム学講座

地球環境気候学研究室　510349

谷口　佳於里

指導教員：立花義裕教授

概要

日本付近で発生する秋雨前線に関する研究はあまりされていない．数少ない先行研究である Matsumoto(1988)[1)]は, 偏西風の南下と太平洋高気圧が退くにつれ秋雨前線が南下することを示したが，特定の年の解析しかされていない．また，Matsumoto(1988)[1)]では前線の位置を判断する資料として，気象庁の地上天気図を使用している．地上天気図に示される前線は人の手によって描かれているので描く人の主観が入る．

本研究では，新しく考えた手法によって客観的に 9 月の秋雨前線帯を抽出した．この結果を基に前線帯の位置変動が大きいエリアを発見し，位置変動の要因を追究することを目的とした．

9 月の秋雨前線帯の位置変動が大きいエリアは三陸沖であることが分かった. 解析結果から，位置変動の要因として顕著な SST 勾配の位置と関係性があることを示唆した．顕著な SST 勾配が三陸沖の北側にあるとき，高温偏差が日本の上空を覆い，南側にあるとき，高温偏差が日本の南側にあることが明らかになった.

目次

概論

1章　序論……4
　1-1　研究背景

2章　使用データ……5
　2-1　JRA-25 データと JCDAS データ
　2-2　OI SST V2
　2-3　JCOPE

3章　解析手法……6
　3-1　前線帯指数の定義
　3-2　秋雨前線帯の抽出方法
　3-3　秋雨前線帯の位置変動
　3-4　コンポジット解析

4章　解析結果……9
　4-1　秋雨前線帯の位置分類
　4-2　秋雨前線帯の位置と SST 分布
　4-3　秋雨前線帯の位置と 9 月の三陸沖とオホーツク海域の SST 差
　4-4　秋雨前線帯の位置と 9 月の顕著な SST 勾配の位置
　4-5　9 月の三陸沖とオホーツク海域の SST 差と上空の気温
　4-6　9 月の顕著な SST 勾配と上空の気温

5章　結論……19

謝辞

引用・参考文献

1章　序論

1-1　研究背景と研究目的

気象庁では，9 月から 10 月の秋期において発生する停滞前線を秋雨前線としている．秋雨前線は，日本付近に発生し主に東日本に大雨をもたらす．さらに，秋雨前線に台風が接近する際，台風からの水蒸気輸送により前線は活発化する．特に 2007 年には，東北地方で死者 3 名，家屋半壊 226 棟，床下浸水 1024 棟などの甚大な被害がもたらされた（気象庁[2]）．このように日本周辺に見られる現象にも関わらず，秋雨前線に関する研究はあまりされていない．数少ない先行研究として，Matsumoto（1988）[1]は偏西風の南下と太平洋高気圧が退くにつれ，秋雨前線が南下することを示したが，特定の年のみの解析である．また，Matsumoto(1988)[1]では前線帯の位置を把握する資料として，気象庁の地上天気図を使用している．しかし，各気象機関によって前線を引く定義が異なる．例として，気象庁[3]と民間気象会社ウェザーマップ[4]の 2005 年 10 月 4 日の 9 時の地上天気図を比較する．関東の東の海域に注目すると，気象庁の地上天気図には停滞前線が引かれていないが，ウェザーマップの方には引かれていることが分かる(Fig.1-1)．地上天気図の前線は，人の手によって描かれており前線を描く人の主観が入る．

そこで本研究では，新しく考えた手法を用いて客観的に前線帯を決定し，9 月の秋雨前線帯を抽出する．この結果を基に 9 月の秋雨前線帯の位置変動が大きいエリアの発見と位置変動の要因を追究することを目的とする．

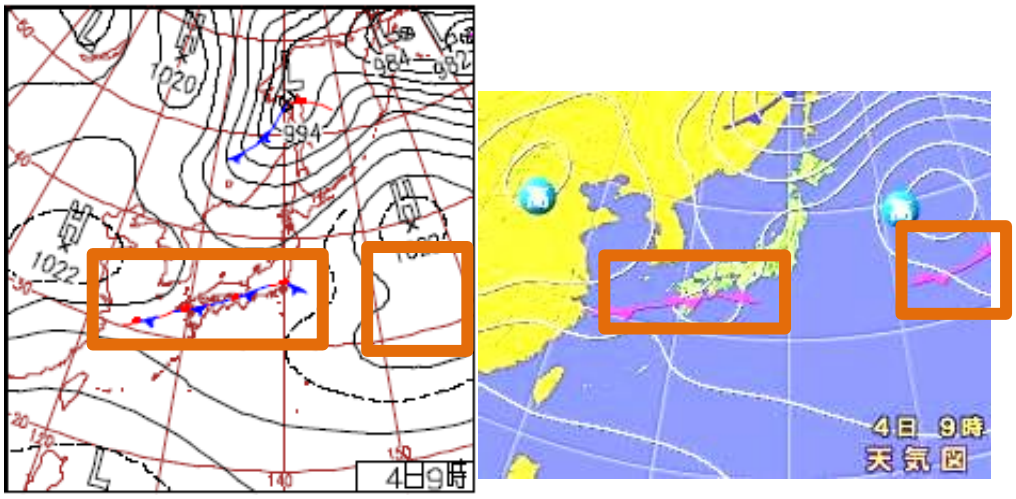

Fig.1-1　2005 年 10 月 4 日 9 時の地上天気図
左図: 気象庁　　右図: ウェザーマップ

2 章　使用データ

2-1　JRA-25 データ

JRA-25 データは，気象庁と電力中央研究所によって作成された 1979 年から 2004 年までの長期再解析データである．解像度は 1.25°×1.25°である [5]．

本研究では，1982 年から 2004 年までの気温と雲水量の 6 時間毎のデータ，表面気圧の日平均データを使用した．いずれも対象期間を 9 月とする．

2-2　JCDAS データ

JCDAS (JMA Climate Data Assimilation System：気象庁気候データ同化システム) は, JRA-25 とおなじシステムで計算された, 2005 年から現在までの再解析データである．解像度は 1.25°×1.25°である [5]．本研究では 2005 年から 2012 年までの気温と雲水量の 6 時間毎のデータ，表面気圧の日平均データを使用した．いずれも対象期間を 9 月とする．

2-3　OI SST V2

NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)によって作成された海面水温(SST)の再解析データである．解像度は 0.25°×0.25°である [6]．本研究では 1982 年から 2012 年までの SST の日平均データを使用した．

2-4　JCOPE

JCOPE (Japan Coastal Ocean Predictability Experiment) は，1993 年 1 月から現在までの期間の日本近海の水温塩分データを公開している．水平解像度は 1/12 度格子で，黒潮や親潮を鮮明に記述できる [7]．本研究では，1993 年から 2012 年までの 9 月の SST データを使用した．

3 章　解析手法

3-1　前線帯指数の定義

前線帯は暖気と寒気が接することで形成される．前線帯の一般的な検出方法として，地表の摩擦や熱の影響を受けない 850hPa の気温場を使用し，気温勾配の大きいところから前線帯と判断する．

本研究では，925hPa 面の水平気温勾配から前線帯を判断しようとしたが，日本付近以外の気温勾配が大きいところも抽出してしまう．そこで，700hPa 面の雲水量を掛けることで日本周辺の前線帯を抽出した．これらを掛け合わした値を前線帯指数と定義する．この手法は本研究のオリジナルである．水平気温勾配は以下の式で示される．

$$|\nabla \mathrm{T}| = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2}$$

ここでは，水平気温勾配の値が 0.4 以下である領域を 0 として扱う(Fig.3-1 左図)．雲水量を気温のオーダーに合わせるため，10^5 を掛けた(Fig.3-1 右図)．また，標高の高い山脈等の地形の影響を取り除くため，地表面気圧 700hPa (高度約 3000m) 以上を除去した．

定義した前線帯指数とウェザーマップ の地上天気図 [4]を比較する．定義した前線帯指数は関東地方から三陸沖にあり，地上天気図の前線帯も同じ位置を示す．決定した前線帯が大幅に誤っていないことが確認できた(Fig.3-2).

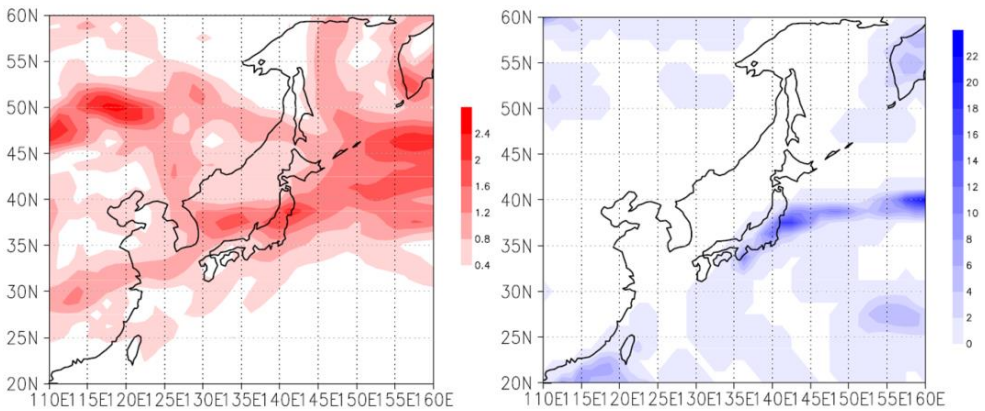

Fig.3-1　2005 年 10 月 10 日(UTC 00:00)の水平温度勾配と雲水量
左図: 925hPa 面の水平温度勾配(0.4 以下を除去)
右図: 700hPa 面の雲水量

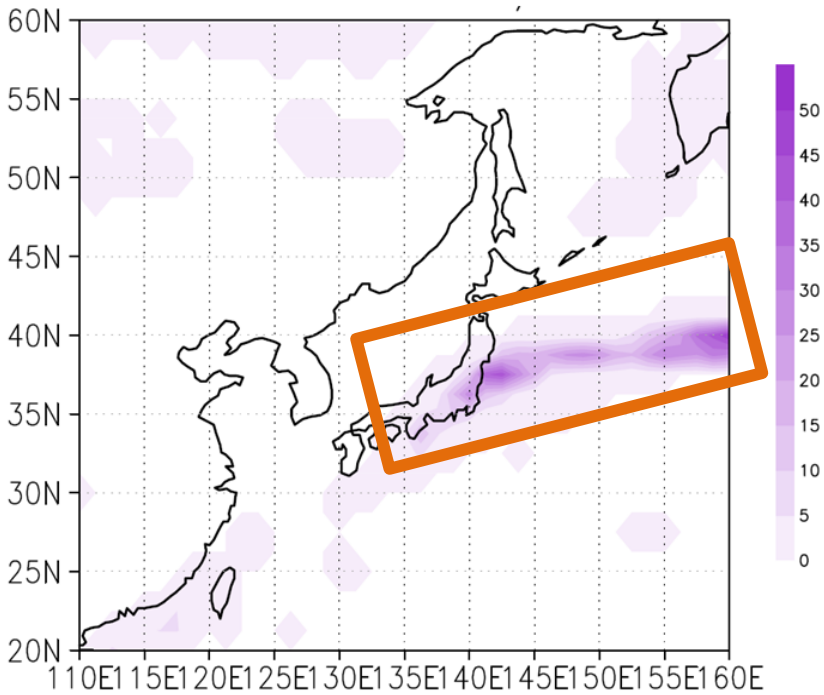

Fig.3-2　2005 年 10 月 10 日 9 時の前線帯指数と地上天気図

上図: 前線帯指数　　下図: 地上天気図

3-2　秋雨前線帯の抽出方法

前線帯指数が 2.8 より大きい場合を前線帯とし，6 時間毎のデータを作成した．前線帯が停滞しているか判断するため，二通りの時間平均を行う．一つ目は 1982 年から 2012 年までの 31 年間で平均し，9 月の秋雨前線帯の気候値を求めた(Fig.3-3)．二つ目は月平均をし，1982 年から 2012 年までの 31 年分の秋雨前線帯の分布を求めた．

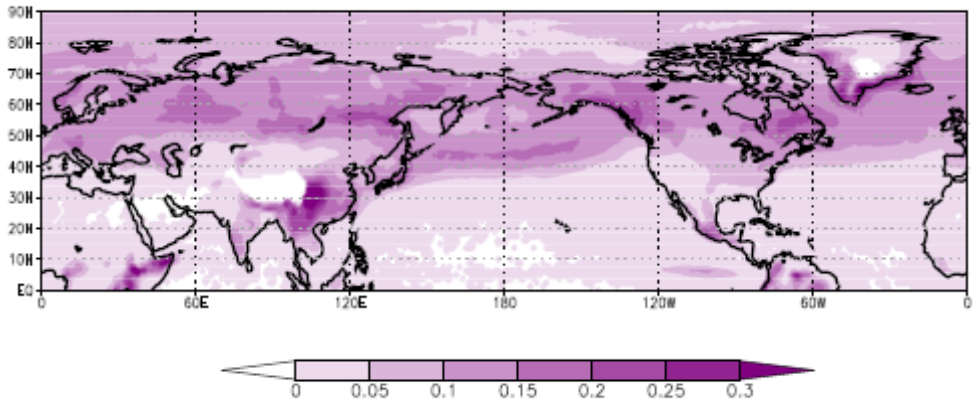

Fig.3-3 北半球における 9 月の秋雨前線帯の気候値

3-3　秋雨前線帯の位置変動

秋雨前線帯の位置変動が大きいエリアを見るため, 年々変動の標準偏差を求める(Fig.4-1). 標準偏差 s は次の式で求められる．

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \overline{X})^2}$$

s: 標準偏差　N: 標本数　X_i: 標本　　$\overline{X}$: 標本平均

本研究では，X_i を 1982 年から 2012 年までの各年の秋雨前線帯，$\overline{X}$を 9 月の秋雨前線帯の気候値(1982 年~2012 年)とする．

3-4　コンポジット解析

コンポジット解析(合成図解析)とは，ある条件で標本を抽出し，その標本の平均値を使って，初めに設定した条件と母集団の関係性を探る手法である．本研究では，気候値との差をとったものに対してコンポジット解析を行い，本研究では，4 章の 4-2，4-3，4-5 で使用する．

4 章　解析結果

4-1 秋雨前線帯の位置変動と位置分類

秋雨前線帯の位置変動が大きいエリアは，主にロシア・グリーンランド・南アメリカ・アフリカ・日本の三陸海岸であった（Fig.4-1). 本研究では三陸海岸(北緯 40°)に注視し，この結果から秋雨前線帯の位置を目視によって分類した．秋雨前線帯が北緯 40°より以北に位置する年を NORTH，以南に位置する年を SOUTH とした(Fig.4-2)．不明瞭な秋雨前線帯や北緯 40°を横切って位置する場合を分類不可とした．それぞれの例として，2000 年・2006 年・2001 年の秋雨前線帯の図を示す(Fig.4-3). NORTH は 14 事例, SOUTH は 8 事例，分類不可は 9 事例に分けた．(Fig.4-4).

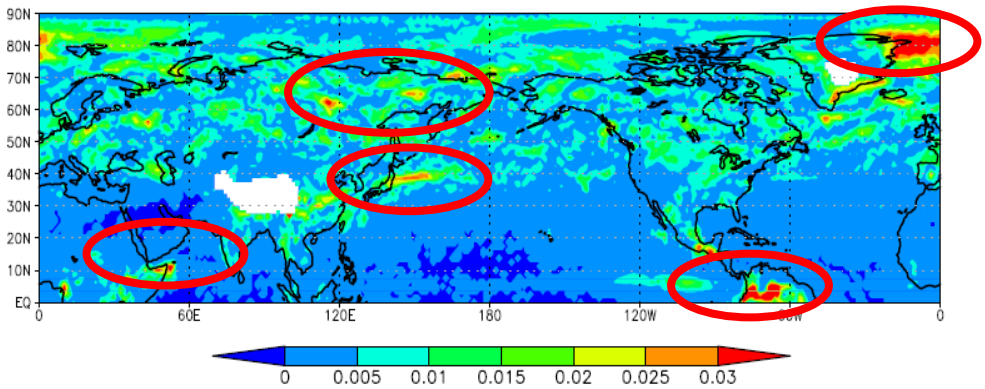

Fig.4-1　北半球における 9 月の秋雨前線帯の位置変動の標準偏差
赤丸は，標準偏差の大きいエリアを示す

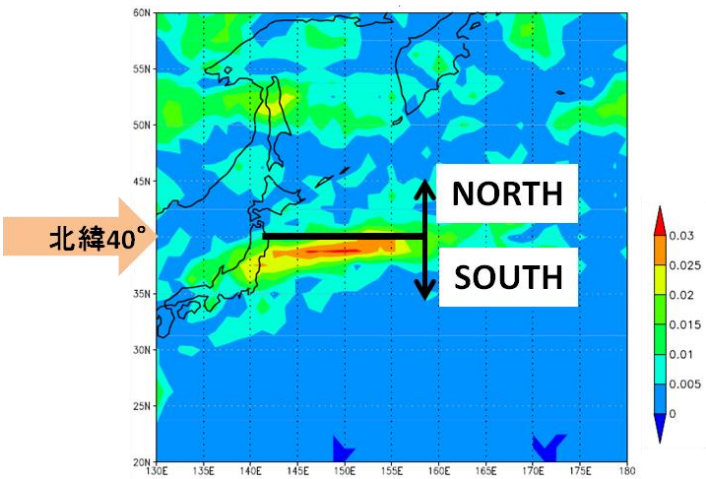

Fig.4-2　秋雨前線帯の位置分類の方法

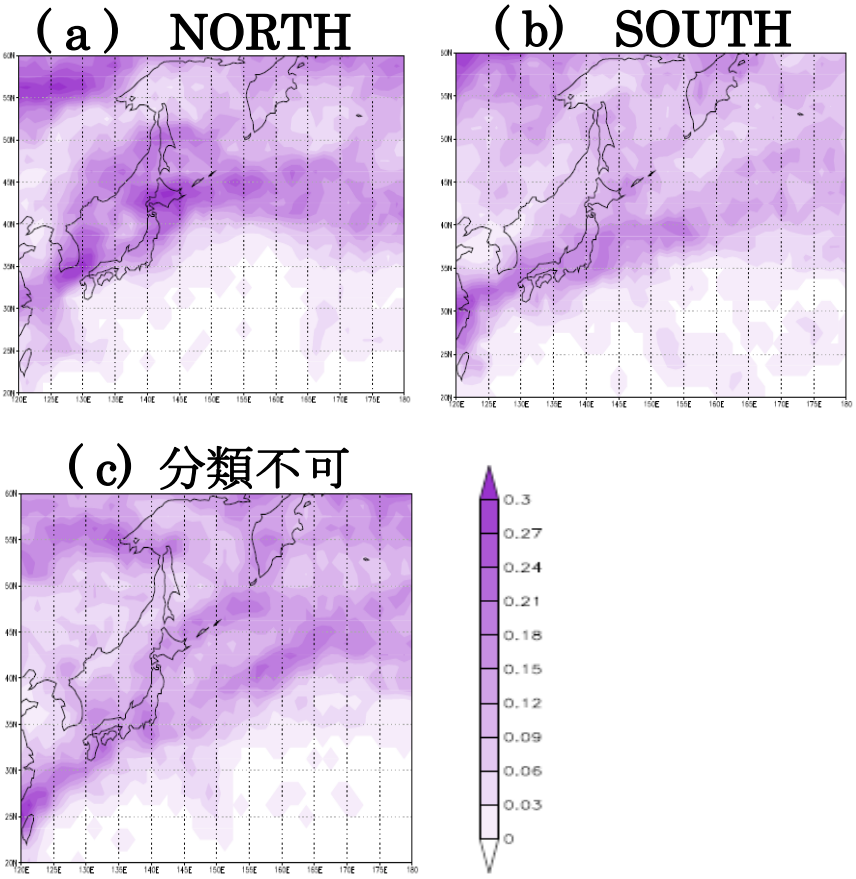

Fig.4-3　日本付近の 9 月の秋雨前線帯

（a）2000 年（b）2006 年（c）2001 年

NORTH	SOUTH	分類不可
1988	1984	1982
1989	1985	1983
1990	1993	1986
1992	1996	1987
1994	1999	1991
1997	2006	1995
1998	2008	2001
2000	2009	2002
2003		2010
2004		
2005		
2007		
2011		
2012		

Fig.4-4　秋雨前線帯の位置分類表

4-2　秋雨前線帯の位置と 9 月の SST 分布

NORTH と SOUTH に SST 分布の違いがないかを見るため，NORTH と SOUTH に対してコンポジットした SST の差をとった．差に有意性があるか調べるため，信頼水準 90%以上で t 検定を行った．赤色で塗られたエリアは正の有意性（高温偏差），青色で塗られたエリアは負の有意性（低温偏差）を示す. NORTH の方が SOUTH より三陸沖で高温に, オホーツク海域で低温になり, SOUTH では NORTH と逆の分布を示す(Fig.4-5). この結果より秋雨前線帯の位置によって海のシグナルが異なることが明らかになった. 本研究では三陸沖とオホーツク海域に注目する.

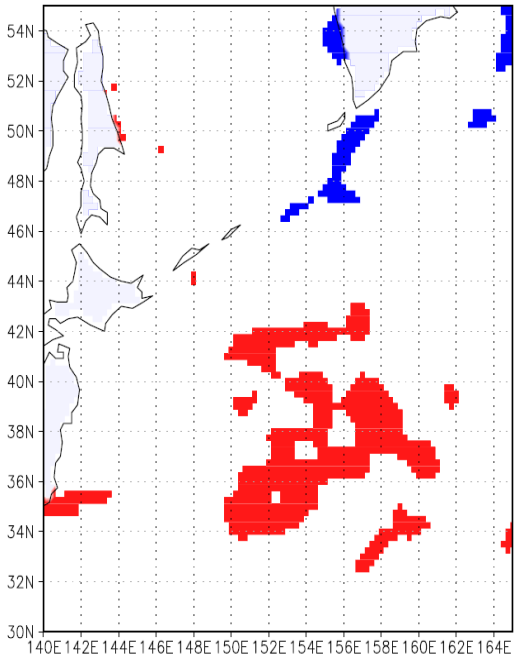

Fig.4-5　9 月の SST に対する NORTH と SOUTH の差の有意性

4-3　秋雨前線帯の位置と 9 月の三陸沖とオホーツク海域の SST 差

9 月の三陸沖とオホーツク海域の SST 差が秋雨前線帯の位置変動と関係性があるかを見る．領域平均をした三陸沖(37.0417°N－42.0516°N，152.041°E－158.04°)とオホーツク海域(46.0416°N－51.0415°N，152.041°E－158.04°E)の両者の SST 差をとった．SST 差が大きい年，小さい年を 4 つずつ抽出した．SST 差が大きい年は 1994 年・1999 年・2010 年・2012 年，SST 差が小さい年は 1993 年・1995 年・1996 年・2006 年である(Fig.4-6)．それぞれの場合で，秋雨前線帯に対しコンポジット解析を行った．

結果として，SST 差が小さいときは日本の南側に明瞭な秋雨前線帯が位置していることが分かる．しかし，SST 差が大きいときは日本の北側に秋雨前線帯が位置しているが，不明瞭である(Fig.4-7)．このことより，SST 差の大小が直接，秋雨前線帯の位置の要因となるとは考えにくい．

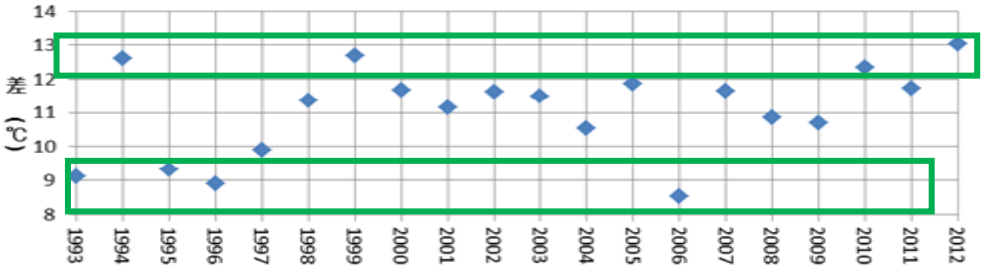

Fig.4-6 三陸沖とオホーツク海域の 9 月の SST 差
縦軸: SST 差　横軸: 時間軸(1993 年~2012 年)

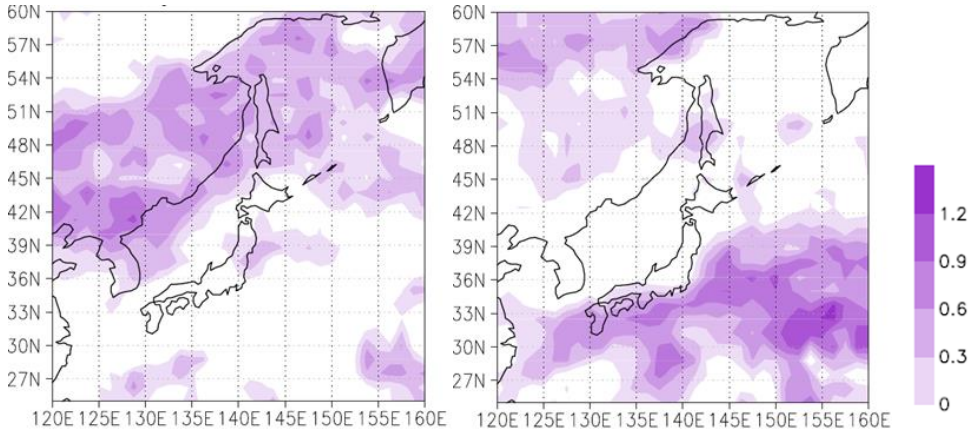

Fig.4-7　9 月の秋雨前線帯のコンポジット図
左図: SST 差が大きい年(1994・1999・2010・2012)の秋雨前線帯
右図: SST 差が小さい年(1993・1995・1996・2006)の秋雨前線帯

4-4　秋雨前線帯の位置と 9 月の顕著な SST 勾配の位置

三陸沖付近において，9 月の顕著な SST 勾配の位置と 9 月の秋雨前線帯の位置に関係性があるかを見る．鮮明な SST 勾配を見るため，解像度の細かい JCOPE の SST データを用いる．SST 勾配は次の式で求められる．

$$|\nabla \mathrm{SST}| = \sqrt{\left(\frac{\partial(SST)}{\partial y}\right)^2}$$

SST 勾配の図と秋雨前線帯の図を比較し，顕著な SST 勾配の位置と秋雨前線帯の位置がよく対応する年を目視によって抽出した．ここでは，0.04 以上の SST 勾配を顕著な SST 勾配とする(Fig.4-8).

顕著な SST 勾配が三陸沖の北側にある年は，1994 年・1997 年・1998 年・2000 年・2005 年，南側にある年は，1993 年・1996 年・2006 年・2009 年であった．比較しやすいように両者の抽出数を等しくする．顕著な SST 勾配が北側にある年からは，より対応した 1994 年・1997 年・2000 年・2005 年を抽出した．両者において，顕著な SST 勾配と秋雨前線帯に対しコンポジット解析を行った．顕著な SST 勾配が北側のとき秋雨前線帯も北側に位置し(Fig.4-9,a-1,a-2)，顕著な SST 勾配が南側のとき秋雨前線帯も南側に位置することが分かった(Fig.4-9,b-1,b-2)．両者とも明瞭に秋雨前線帯が示された．

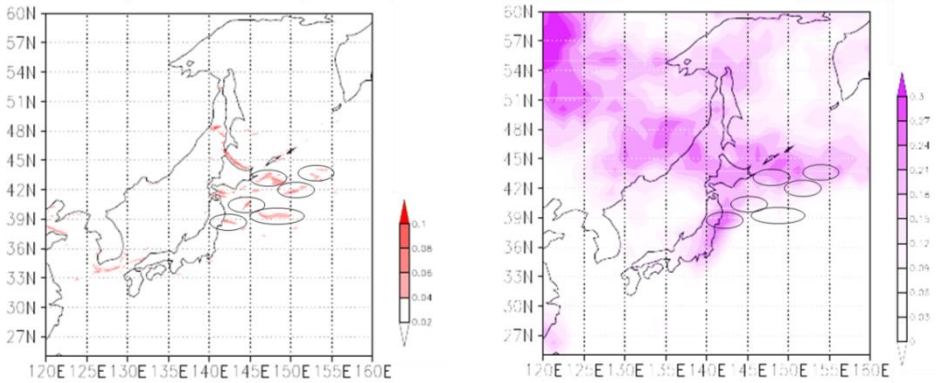

Fig.4-8　顕著な SST 勾配の位置と秋雨前線帯の位置の比較方法
左図：1994 年の 9 月の顕著な SST 勾配　右図：1994 年の 9 月の秋雨前線帯
黒丸は顕著な SST 勾配の位置を示す
※0.04 以上の SST 勾配を顕著な SST 勾配とする

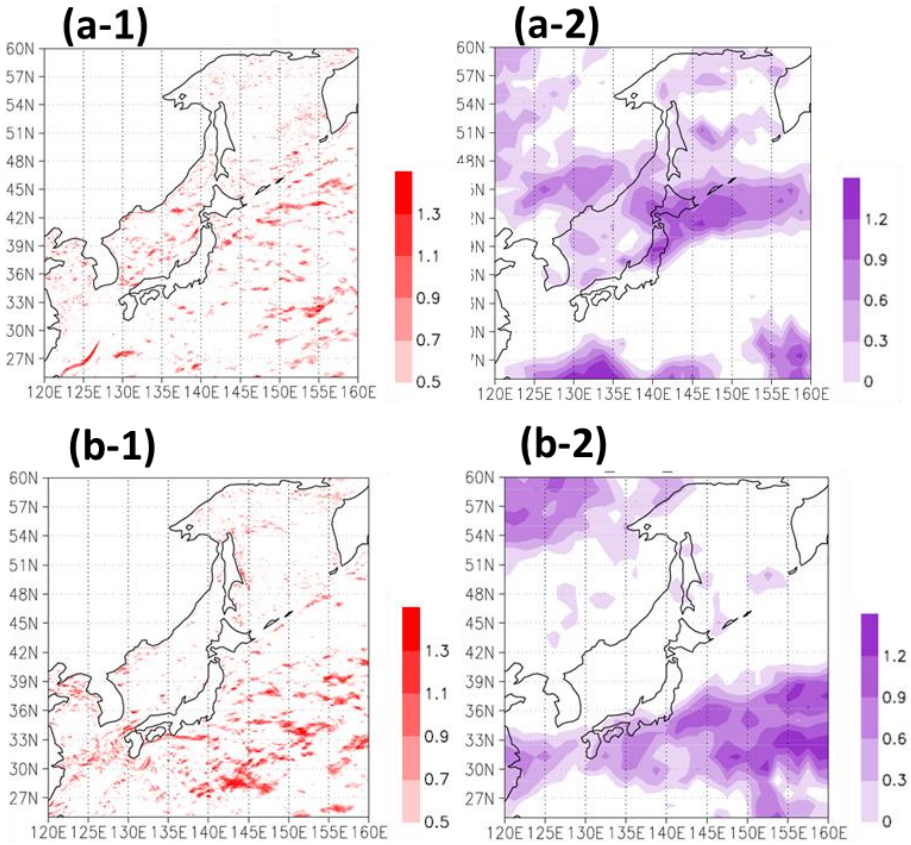

Fig.4-9　顕著な SST 勾配と秋雨前線帯のコンポジット

（a-1）: 顕著な SST 勾配の位置が三陸沖の北側にある年(1994・1997・2000・2005)のコンポジット

（b-1）: 顕著な SST 勾配の位置が三陸沖の南側にある年(1993・1996・2006・2009)のコンポジット

（a-2）: 顕著な SST 勾配の位置が三陸沖の北側にある年(1994・1997・2000・2005)の秋雨前線帯のコンポジット

（b-2）: 顕著な SST 勾配の位置が三陸沖の南側にある年(1993・1996・2006・2009)の秋雨前線帯のコンポジット

4-5　顕著な SST 勾配の位置と上空の気温

顕著な SST 勾配が三陸沖の北側か南側にあるかによって，上空(850hPa)の気温がどのような分布を示すか調べる．顕著な SST 勾配が北側・南側に位置する年，それぞれに対して気温のコンポジット解析を行った．顕著な SST 勾配が北側にあるとき，高温偏差は日本列島を覆う(Fig.4-10，上図)．南側にあるとき，高温偏差は日本の南側に見られる(Fig.4-10，下図)．

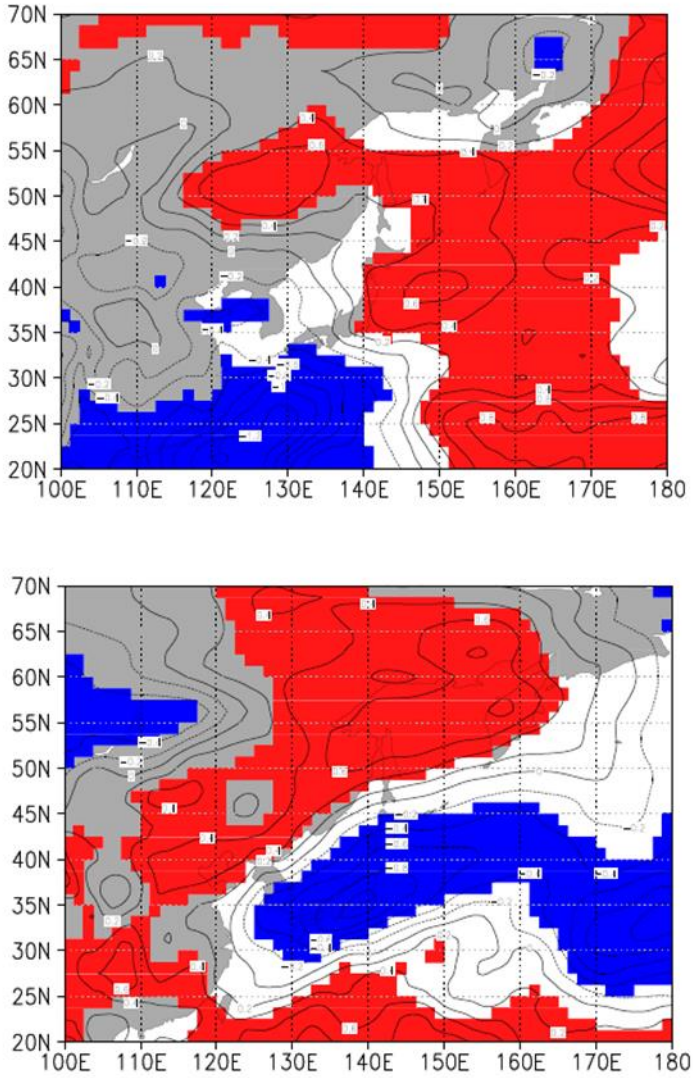

Fig. 4-10　9 月の気温に対するコンポジット図(850hPa)

上図: 顕著な SST 勾配が北側にある年(1994・1999・2010・2012)の気温場

下図: 顕著な SST 勾配が南側にある年(1993・1995・1996・2006)の気温場

4-6　月別における顕著な SST 勾配の位置と前線帯の位置の対応

6 月から 10 月において, 顕著な SST 勾配の位置と前線帯の位置がどのくらい対応しているか，1993 年から 2012 年の 20 年分調べた．8 月は前線帯と SST 勾配が不明瞭であるため除く.

ここでは，0.06 以上の SST 勾配を顕著な SST 勾配とする．前線帯が 0.2 以上の場合を対象とし，解析を行った．例として 2010 年の 9 月における顕著な SST 勾配と前線帯の図を用いる．Fig.4-11 は 9 月の顕著な SST 勾配の図を示す，黒丸は顕著な SST 勾配があることを示し，目視によって緯度を確認する．顕著な SST 勾配の平均的な位置を求めるため，緯度平均をとる．ここでの平均的な位置は北緯 44.17°であった．Fig.4-12 は 9 月の前線帯の図を示す．前線帯の値が 0.2 以上の領域に対し，目視によって前線帯の中心部を判断する．ここでの前線帯の中心部は北緯 39°であった．そして，顕著な SST 勾配の位置から前線帯がどれくらいずれているのか確認するため，両者の緯度の差をとる．このとき小数点第一位に対して，四捨五入をし，2010 年の顕著な SST 勾配の位置から前線帯は-5°ずれていることが分かった．ここでは，顕著な SST 勾配の位置から前線帯が北(南)あるときは正(負)の値を示す.

上記の手法を用いて求めた結果を Fig.4-13 に示す．縦軸は顕著な SST 勾配の位置から前線帯がどれくらいずれているかを示す．値が 0 のときは顕著な SST 勾配と前線帯の位置が対応し，正(負)の値ほど顕著な SST 勾配の位置から前線帯が北(南)にずれていることを示す．横軸は年の数を示す.

7 月・10 月では，両者の位置が対応している年がなかった．6 月では，両者の位置が対応している年は 1 年のみであり，9 月は 3 年あった．他の月と比較すると 9 月が最も多いことが分かった(Fig.4-13).

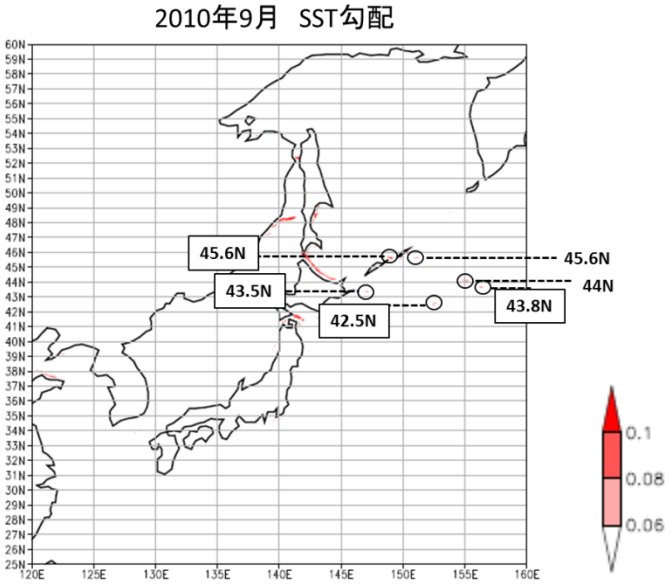

Fig.4-11　2010 年 9 月　日本付近の顕著な SST 勾配の位置の分布図
黒丸は顕著な SST 勾配があることを示す
※0.06 以上の SST 勾配を顕著な SST 勾配とする

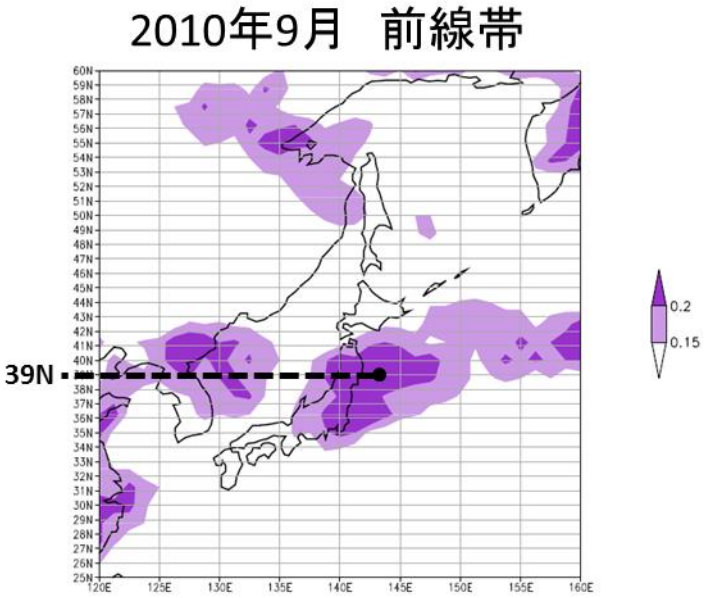

Fig.4-12　2010 年 9 月　日本付近の前線帯の分布図
黒点は秋雨前線帯の中心部を示す

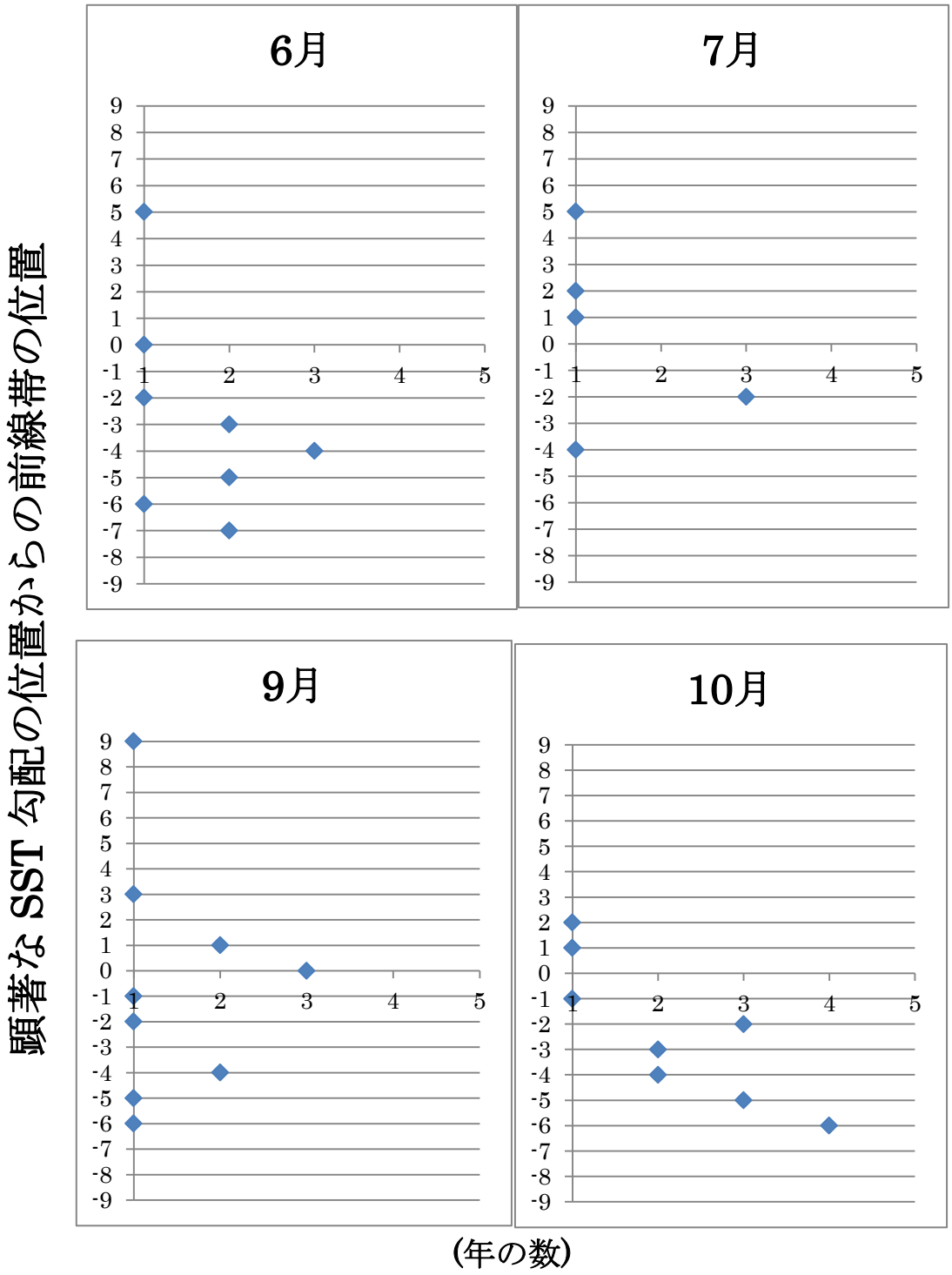

Fig.4-13　　顕著な SST 勾配の位置と前線帯の対応図　6 月・7 月・9 月・10 月
縦軸は顕著な SST 勾配の位置から前線帯がどれくらいずれているかを示す．正(負)の値ほど前線帯が顕著な SST 勾配位置より北(南)にあることを示す．
横軸は年の数を示す

5 章　結論

地上天気図に示される前線の位置・長さは，各気象機関によって異なる．前線は人の手によって描かれているため，描く人の主観が入ってしまう．そこで，本研究ではオリジナルな手法を用いて，客観的に 9 月の秋雨前線帯の分布図を示すことができた．この結果から，9 月の秋雨前線帯の位置変動が大きいエリアは三陸沖付近(北緯 40°)であることが分かった．

秋雨前線帯が北緯 40°以北と以南にある場合に分類し，それぞれの 9 月の SST 分布を見たところ逆のシグナルを示すことが明らかになった．今回は，三陸沖とオホーツク海域の 9 月の SST に注目した．秋雨前線帯と SST の関係性を調べるため，二つの視点から見た．一つ目は，三陸沖とオホーツク海域の SST 差の大小によって秋雨前線帯の位置が決められるか，二つ目は，顕著な SST 勾配の位置と秋雨前線帯の位置は対応するかを見た．

SST 差が大きい年・小さい年を抽出し，秋雨前線帯に対してコンポジット解析を行ったが，不明瞭な秋雨前線帯が示された．このことより，SST 差の大小が直接，秋雨前線帯の位置変動の要因となるとは考えにくい．

顕著な SST 勾配が三陸沖の北側・南側に位置する年を抽出し，秋雨前線帯に対してコンポジット解析を行った．両者とも明瞭な秋雨前線帯が見られた．そして，両者の 850hPa の気温場の分布を見たところ，顕著な SST 勾配が北側の年は，高温偏差が日本列島を覆い，南側の年は，高温偏差が日本の南に見られた．

そして，8 月を除く 6 月から 10 月において，前線帯と顕著な SST 勾配の位置がよく対応している月は 9 月であることが分かった．

Matsumoto(1988)[1)]では偏西風の南下により秋雨前線は南下すると示されたが，本研究では，顕著な SST 勾配と秋雨前線帯の位置が関係する年があることを示唆した．

謝辞

本研究を進めるにあたり，立花義裕教授には気象に関する専門知識や解析手法，さらには発表の仕方など細かく丁寧にご指導いただき，大変感謝しております．また，小寺邦彦氏，山崎考治氏には，研究内容に関してコメントや助言をいただき，厚く御礼申し上げます．

自然環境システム学講座の先生方には，合同ゼミでご指導していただいたり，海洋・大気・統計等の専門的な授業で非常に重要な知識を学ばさせていただきました．厚く御礼申し上げます．地球環境気候学研究室の先輩方には，研究を進めるにあたっての多くの助言やプログラムの組み方等教えていただいたり，要旨を添削していただいたりと，大変お世話になりましたことを心より感謝しております．最後に，励まし合ってここまで共にきた 4 年生をはじめとする学生の皆様と，意見交換を行ったりアドバイスしていただいたりと，深く感謝いたします．

自然環境システム学講座の皆様のおかげで研究を進めることが出来ました．心より感謝しております．

参考・引用文献

1） Matsumoto, J. 1988. Large-scale features associated with the frontal zone over East Asia in autumn. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **66**, 565-579

2) 気象庁，秋雨前線による大雨: http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2007/20070915/20070915.html

3) 気象庁，日々の天気図: http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/

4) ウェザーマップ，気象人: http://www.weathermap.co.jp/kishojin/

5) 気象庁，長期再解析:JRA-25 と気象庁気候データ同化システム:JCDAS: http://jra.kishou.go.jp/JRA-25/index_jp.htm

6) NOAA: http://www.ncdc.noaa.gov/sst/description.php

7) JAMSTEC，FRA-JCOPE2　再解析データ配布のご案内: http://www.jamstec.go.jp/frcgc/jcope/htdocs/distribution/index.html

8) 山岸米二郎，2007：気象予報のための前線の知識，　オーム社

9) 新田尚，稲葉征男，土屋喬，二宮洸三，2004：天気図の使い方と楽しみ方，オーム社

10) 伊藤久徳，見延庄士郎，2010：気象学と海洋物理学で用いられるデータ　*気象研究ノート*