平成 29 年度　卒業論文

三重県北部の降雪変動に寄与する北日本小低気圧の存在

Existence of north Japan small cyclone contribute snowfall fluctuation in northern Mie prefecture

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

気象・気候ダイナミクス研究室　514374

松岡　優輝

指導教員：立花　義裕　教授

目次

第 1 章　序論……3
第 2 章　使用データ……5
2-1 DSJRA-55
2-2 アメダス
第 3 章　解析手法.....7
3-1 スムージング
3-2 小低気圧の抽出
3-3 小低気圧の定義
3-4 合成図解析
第 4 章　解析結果……..11
4-1 局地的な降雪のあった事例の合成図解析の結果と考察
4-1-1 現実場
4-1-2 局地場
4-1-3 事例別で見る局地場の解析
4-2 平均以上の降雪があった事例の合成図解析の結果と考察
4-2-1 小低気圧と降雪量の関係
4-2-2 小低気圧の有無と大気場の比較
第 5 章　まとめ……...…19

謝辞……..20
参考・引用文献……..21
Appendix...……..22~25

第1章　序論

冬季の日本において，降雪を伴う地域では時に大雪による被害が出ることが報告されている．その一例として，2017年1月14-15日に東海地方は雪に見舞われた．この2日間はセンター試験の日程と重なっていた．この時のアメダスによる積雪は，津で2cm，名古屋で4cmであった．この程度の積雪では通常通り試験が始まると考えられるが，実際は試験開始時刻が1時間繰り下げられた．その理由は，名古屋と津の中間に位置する四日市の積雪が20年に1度と言われるほど多かった為である（Figure.1）．四日市はアメダスでの積雪の観測は現在行っていないものの，住民の声などから30-40㎝の積雪だったと報告されている．その為，交通網が麻痺し試験開始時刻が繰り下げられたのである．このような特異的な降雪が度々発生する三重県北部の大雪は社会的影響を与えうる重大な現象であり，大雪の原因の解明は非常に意義がある．

この2017年の大雪の事例では，総観規模の場では下層で北西の風が吹いていた（Figure.2）．さらに総観規模の低気圧とは別にメソスケールの低気圧（以下，小低気圧）が秋田県沖周辺に存在していた（Figure.2）．これらの特徴はそれぞれ先行研究がされている．浅井（1993）や二宮（1993）は，小低気圧は冬季季節風が卓越する条件下で度々発生する現象であり，周辺の日本海沿岸に豪雪をもたらす現象として指摘している．さらに，若狭湾付近上空のわずかな風向の違いが降雪に地域差をもたらし，北北西であれば三重県北部に，西北西であれば愛知県西部に降雪をもたらす事が事例解析から知られている［藤吉ら 1991］．しかし，これらは個々の特徴の研究であり，2017年にみられた2つの特徴の関係性から降雪メカニズムを統計的に議論した研究はない．したがって，本研究では秋田県沖周辺に現れる小低気圧と風向場から三重県北部への降雪の関係を統計的に明らかにする事を目的とする．

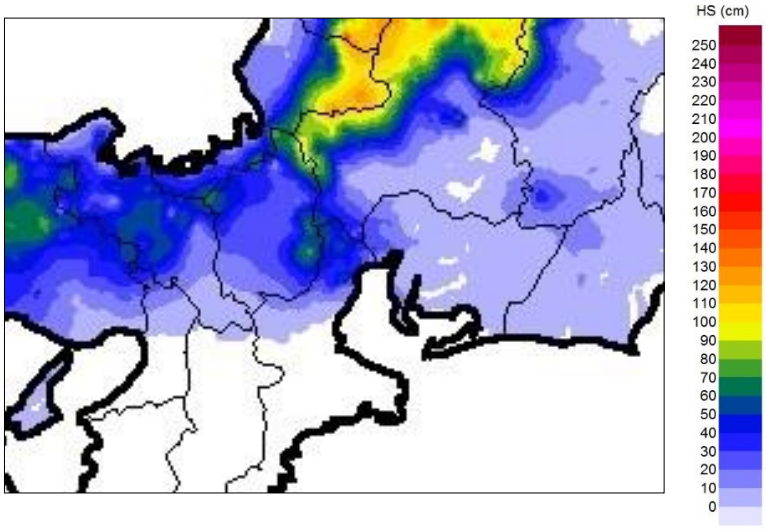


Figure.1　2017 年 1 月 16 日の積雪深（cm）を色で示す．（新潟県準リアルタイム積雪深分布 HP より引用，一部拡大）

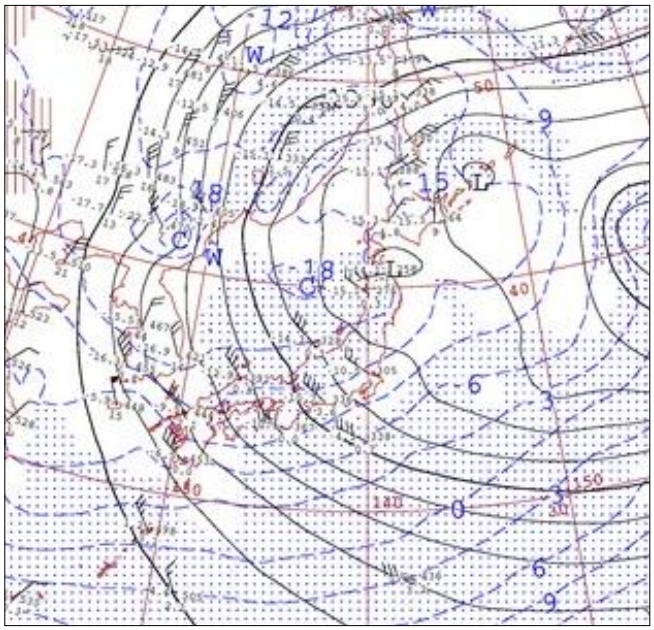


Figure.2　2017 年 1 月 14 日の 850hPa 面の天気図を示す．ジオポテンシャル高度を黒の実線で示し，風向風速［m/s］を矢羽で示し，気温を青の破線で示す．（デジタル台風 HP より引用，一部拡大）

第2章　使用データ

2-1 DSJRA-55 再解析データ

再解析データとは，観測データを同化し，同一の数値予報モデルとデータ同化手法により再計算され，長期間にわたりできる限り均質になるように作成されたデータセットである．本研究で使用する再解析データは，JRA-55 ダウンスケーリング（DSJRA-55）[Kayaba et al., 2016]である．このデータセットは気象庁によって提供されているデータである．1958 年 1 月から 2012 年 12 月までの 1 時間ごとに 105° －160° E，15° －50° N の領域でデータが存在する．データの水平解像度は 0.05°（経度）×0.05°（緯度）であり，鉛直層は 16 等圧面であり，さらに地表面データがある．使用した変数はジオポテンシャル高度，東西方向・南北方向の風，1.5m 気温，海面更生気圧である．参考として，以下に 1995 年 12 月 25 日 00UTC の海面更正気圧の図を示す（Figure.3）．解像度が細かい事から気圧の細かな変動が確認できる．

本研究では，これらの気象データのうち，対象期間が含まれる 1980 年 1 月から 1995 年 12 月までの 1 月，2 月，12 月の日平均データと 1 時間ごとのデータを使用した．

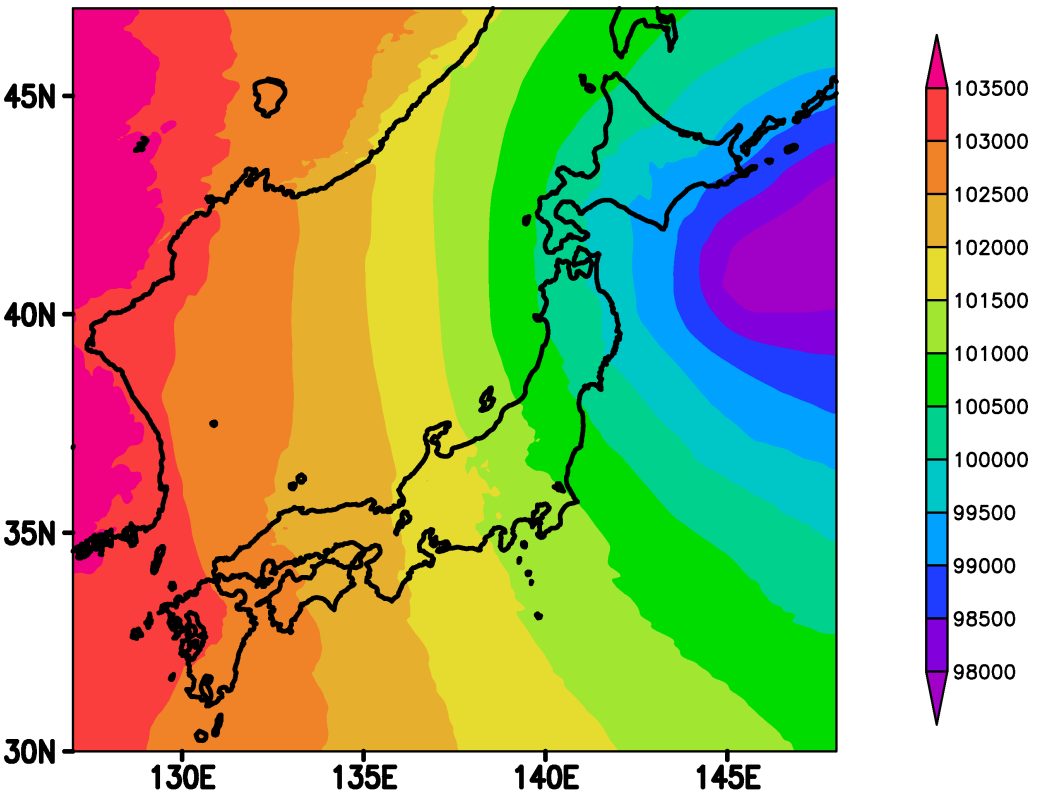


Figure.3　1995 年 12 月 25 日 00UTC の海面更正気圧［Pa］を色で示す．

2-2 アメダス

アメダス（AMeDAS）とは，「Automated Meteorological Data Acquisition System」の略で，「地域気象観測システム」という．アメダスは雨，風，雪などの気象状況を時間的，地域的に細かく監視する為に，降水量，風向・風速，気温，日照時間の観測を自動的におこない，気象災害の防止・軽減に重要な役割を果たしている．アメダスデータは 1974 年 11 月 1 日から現在まで提供されているが，本研究では対象期間が含まれる 1980 年 1 月から 1995 年 12 月までの 1 月，2 月，12 月の日降雪量のデータを使用した．対象地点は四日市，名古屋，岐阜，津の 4 点である．四日市の日降雪量の観測が 1995 年までの為，対象期間の終わりを 1995 年とした．

第 3 章 解析手法

3-1 スムージング

スムージング（平滑化）とは一般的には，凹凸のある状態のものを滑らかにする事である．本研究では再解析データにおいてスムージング処理を行った．ある格子点の値をスムージングするには，その格子点の周りのある一定の領域（本研究では水平方向に格子 100 個×100 個分の領域，距離に換算すると，30° N で約 480km×480km，45° N で約 390km×390km の領域を使用した．なお，重み付けは行っていない．）で平均した値をその格子点の値とする．スムージング処理を行うと，細かな変動は見られなくなり，緩やかな変動を見る事が出来る．参考として，以下にスムージング処理を行っていないもの（Figure.4a）と行っているものの 1.5m 気温の 1 月，2 月，12 月の気候値を示す．

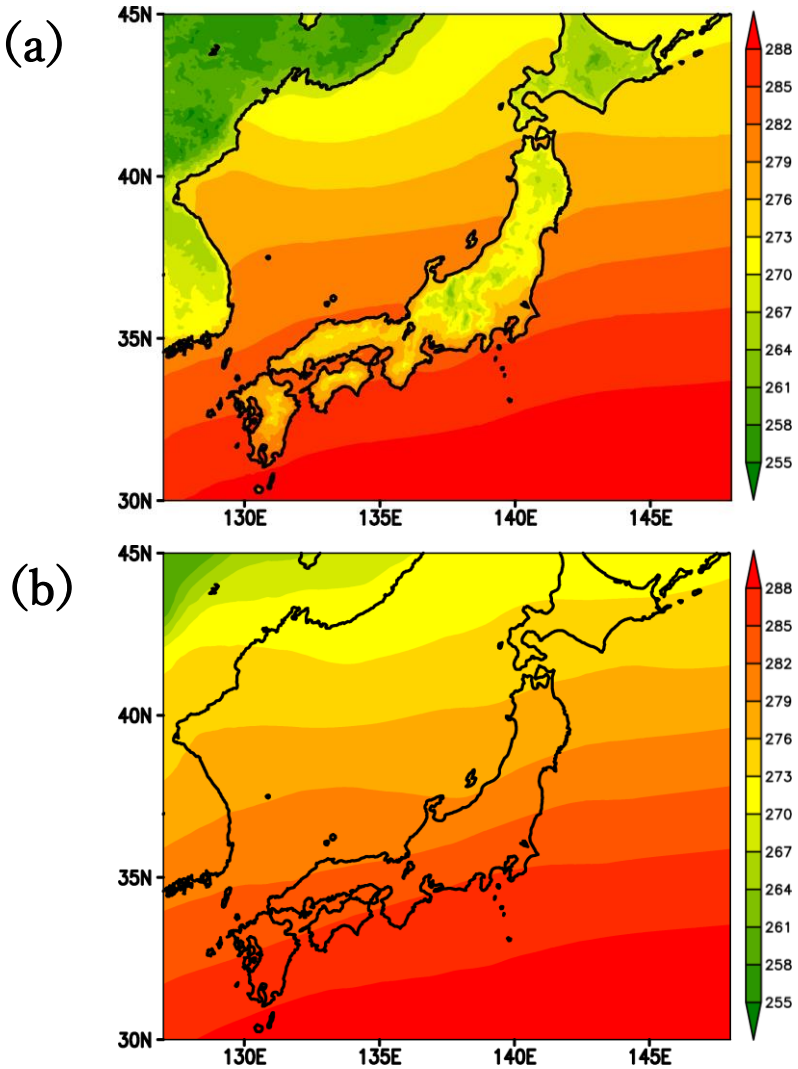


Figure.4　1.5m 気温［K］の気候値を色で示す．(a) スムージング処理を施さないもの，(b) スムージング処理を施したものをそれぞれ示す．

3-2 小低気圧の抽出

本研究で用いる小低気圧は再解析データのそのままの状態では確認できない為，小低気圧を再解析データから表す為に次のような手順を取る．

⑴ 何も手を加えていないそのままのデータを用意（以下，現実場）．

⑵ ⑴を格子点ごとに 500km 四方でスムージングをしたデータを用意（以下，大規模場）．

⑶ ⑴から⑵の差を取り，大規模場の現象を除去したデータを用意（以下，局地場）．

以上である．参考として，以下にそれぞれの場を示す．（Figure.5）

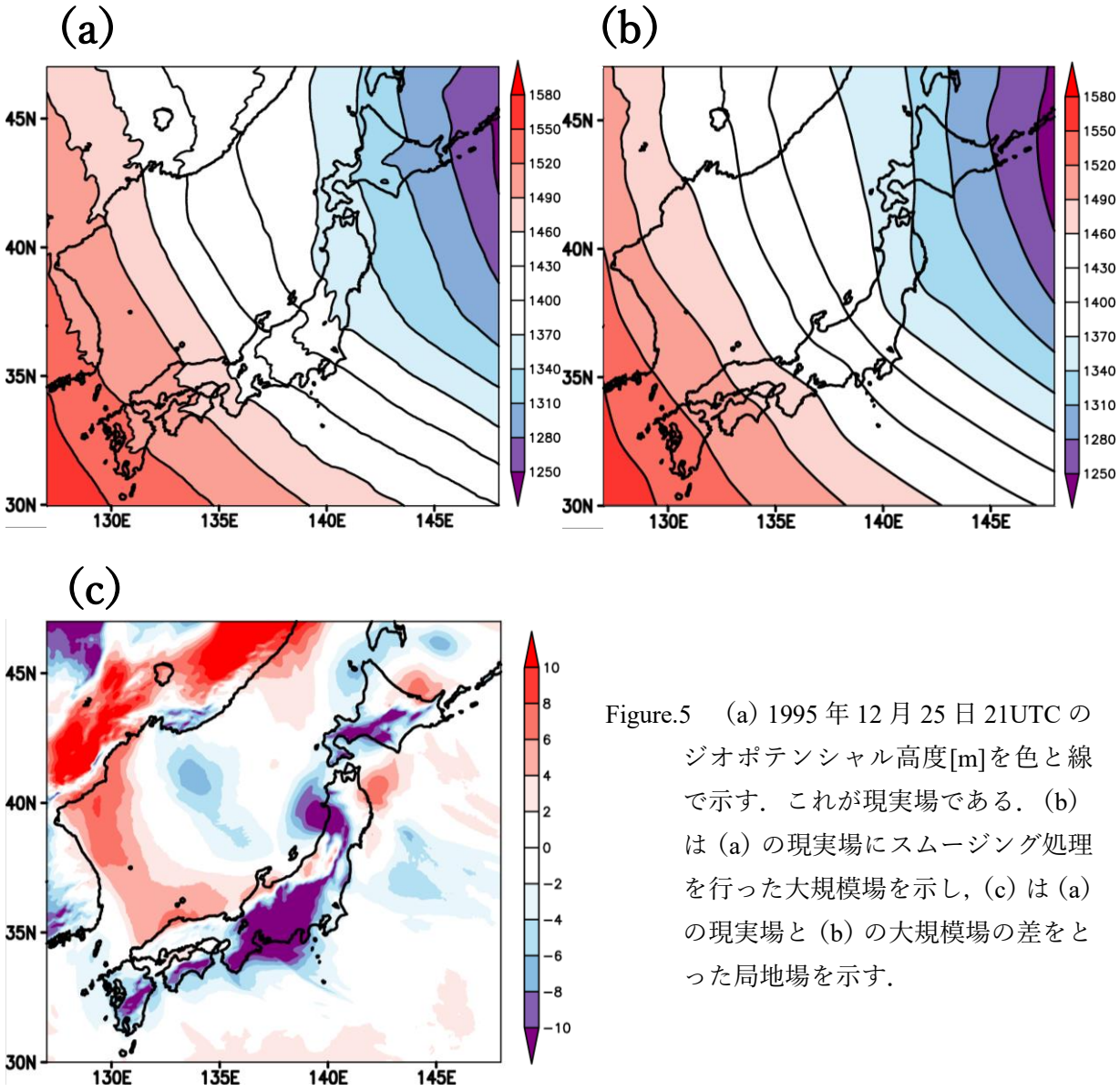


Figure.5 （a）1995 年 12 月 25 日 21UTC のジオポテンシャル高度[m]を色と線で示す．これが現実場である．（b）は（a）の現実場にスムージング処理を行った大規模場を示し，(c) は (a) の現実場と（b）の大規模場の差をとった局地場を示す．

3-3 小低気圧の定義

本研究で用いる小低気圧の定義は以下のように定める．

850hPa 面において

⑴ 北日本周辺の領域（137° －147° E，37° －47° N）に存在している．

⑵ 局地場の低気圧偏差と局地場の風が対応している．（Figure.6a）

⑶ 現実場の低気圧の中心とは異なる．（Figure.6b）

以上である．参考として以下に図を示す．

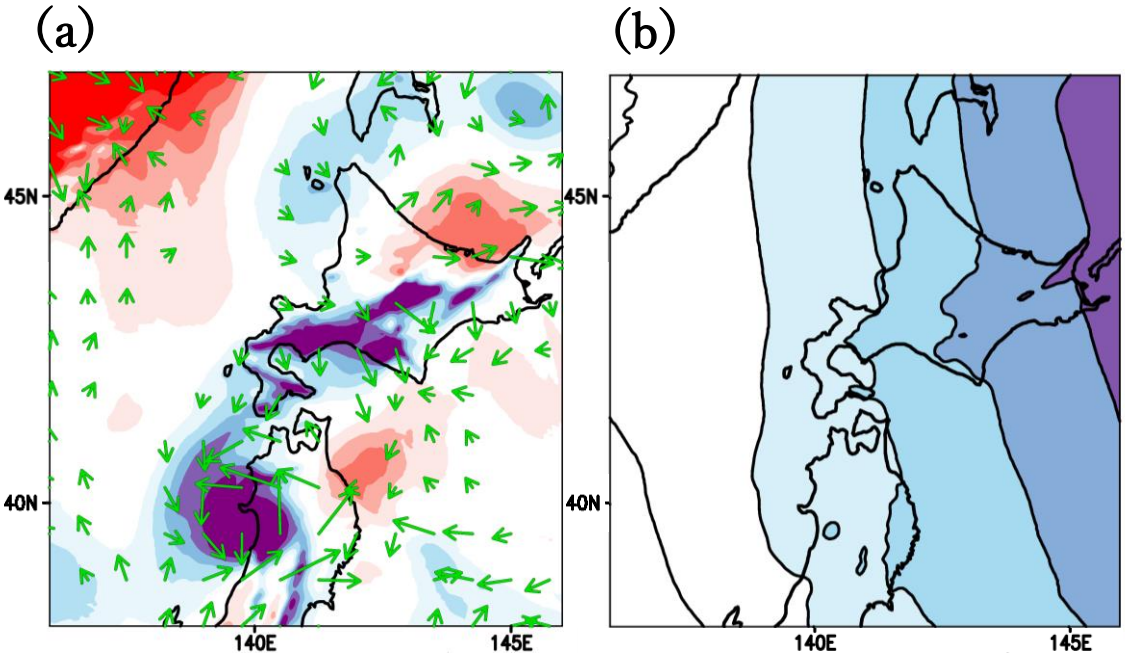


Figure.6　小低気圧を抽出する際に用いた図の例を示す．850hPa 面のジオポテンシャル高度［m］を色と線で示し，850hPa 面の風向風速［m/s］をベクトルで示す．（a）局地場，(b)現実場をそれぞれ示す．

3-4 合成図解析

抽出方法 1：局地的な降雪のあった事例

本研究では 2 種類の合成図解析を行った．四日市と名古屋それぞれに多くの降雪をもたらす時の場の違いを確認する為，四日市，名古屋，岐阜，津の 4 地点の中で四日市の日降雪量が 1 番多い日を抽出したものを四日市型，名古屋の日降雪量が 1 番多い日を抽出したものを名古屋型とした．日降雪量はアメダスを使用した．抽出した事例数は四日市型が 19 事例，名古屋型が 10 事例である．また，南岸低気圧が降雪をもたらした事例は除いた．

抽出方法 2：平均以上の降雪があった事例

小低気圧の有無と大雪の対応を確認する為，各地点の降雪時の平均降雪量以上の降雪のあった日を抽出した．四日市は降雪時の平均降雪量が 5.25 ㎝の為 5 ㎝以上の事例を抽出，名古屋は平均が 4.54 ㎝の為 5 ㎝以上の事例を抽出，岐阜は平均が 5.99 ㎝の為 6 ㎝以上の事例を抽出した. 事例数は四日市型が 11 事例, 名古屋型が 13 事例, 岐阜型が 24 事例である．また，南岸低気圧が降雪をもたらした事例は除いた．
四日市型と名古屋型, 岐阜型をそれぞれ比較し, 統計的に小低気圧の有無が四日市に大雪をもたらす条件となりうるか検討する．

第 4 章　解析結果

4-1 局地的な降雪のあった事例の合成図解析の結果と考察

4-1-1 現実場

四日市型と名古屋型はそれぞれどのような大気場なのかを見る為に 850hPa 面のジオポテンシャル高度の気候値からの偏差を見る．どちらも気候値よりも強い西高東低の場である事が分かった（Figure.7）．次にジオポテンシャル高度の四日市型と名古屋型の偏差を Figure.8（a）に示す．北海道より北に高気圧偏差，関東の南東方向に低気圧偏差がみられた．四日市型は名古屋型よりも南に低気圧が存在している事が考えられる．四日市型と名古屋型の風向風速をそれぞれ Figure.8（b）に示す．四日市型ではわずかに名古屋型よりも北寄りの北西風であることが統計的に示された．

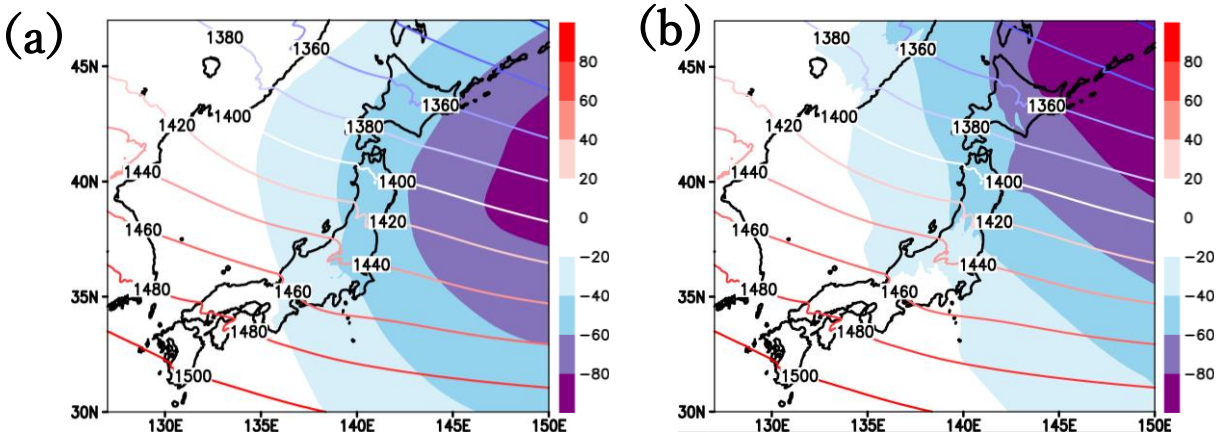


Figure.7　850hPa 面におけるジオポテンシャル高度[m]の気候値からの偏差を色で示し，線は気候値そのものを示す．(a)四日市型，(b)名古屋型をそれぞれ示す．

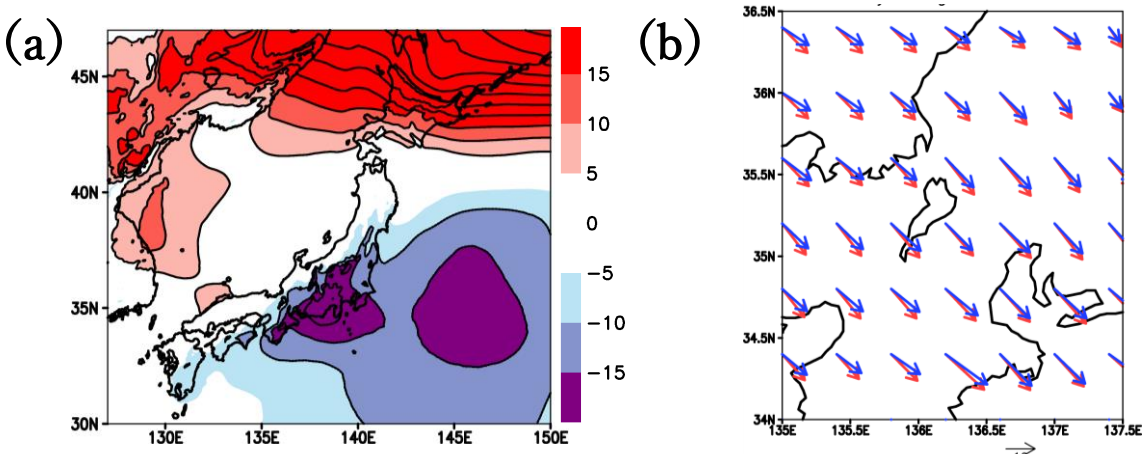


Figure.8　（a）850hPa 面におけるジオポテンシャル高度[m]の四日市型から名古屋型の偏差を色で示す．（b）850hPa 面における風向風速［m/s］をベクトルで示す．赤のベクトルが四日市型，青のベクトルが名古屋型をそれぞれ示す．

4-1-2 局地場

局地場における気候値，四日市型，名古屋型の 850hPa 面のジオポテンシャル高度を Figure.9 に示す. 局地場におけるジオポテンシャル高度は Figure.9 のようになる事が分かる. さらに，局地場における四日市型と名古屋型の偏差を Figure.9 に示す．Figure.9（d）より北海道の北部，北陸以北の日本海沿岸，東北の東の太平洋上に統計的有意な低気圧偏差が示される．この事から四日市型では局地場で前述の地域に低気圧偏差がより強く現れている事が示された.

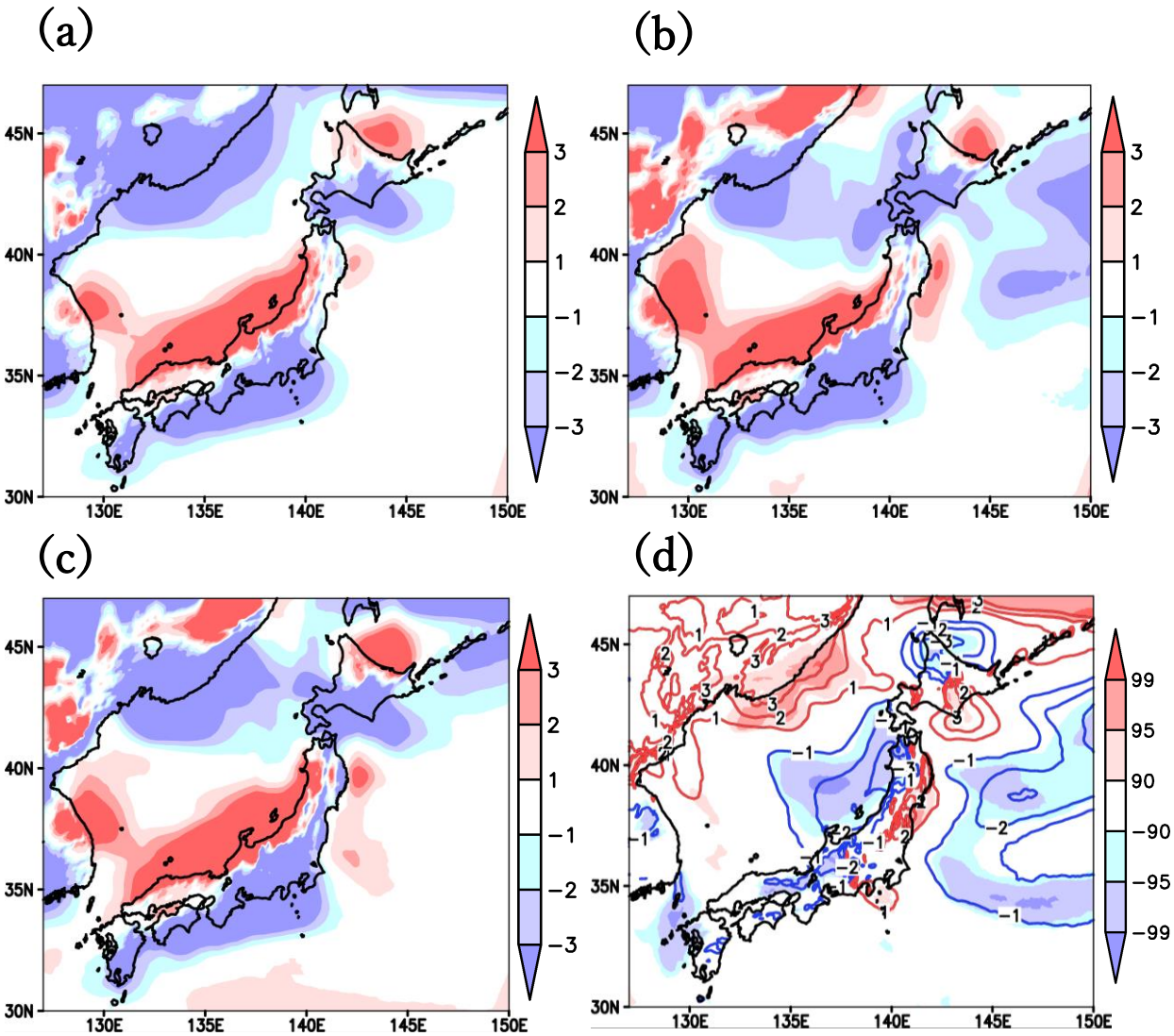


Figure.9　局地場における 850hPa 面のジオポテンシャル高度［m］を示す．（a）気候値，（b）四日市型，（c）名古屋型を示し，色はそれぞれジオポテンシャル高度を示す．（d）（b）から（c）のジオポテンシャル高度の偏差を線で示し，有意水準 90%以上を色で示す.

4-1-3 事例別で見る局地場の解析

Figure.9（d）から四日市型の局地場は北海道の北部，北陸以北の日本海沿岸，東北の東の太平洋上に有意な低気圧偏差が存在している事が示された．しかし，Figure.9（d）は合成図の為，この低気圧偏差がどのような現象を表しているのかはわからない．その為，抽出したすべての事例において，局地場の 850hPa 面のジオポテンシャル高度の 1 時間ごとの変動を見た．前述の領域に多くの小低気圧が存在する事が確認された．参考として以下に，抽出したすべての事例の中から，小低気圧が確認されたいくつかの事例を Figure.10 に示す．従って，Figure.9（d）に現れた統計的有意な低気圧偏差は小低気圧による影響が含まれている事が示唆された．

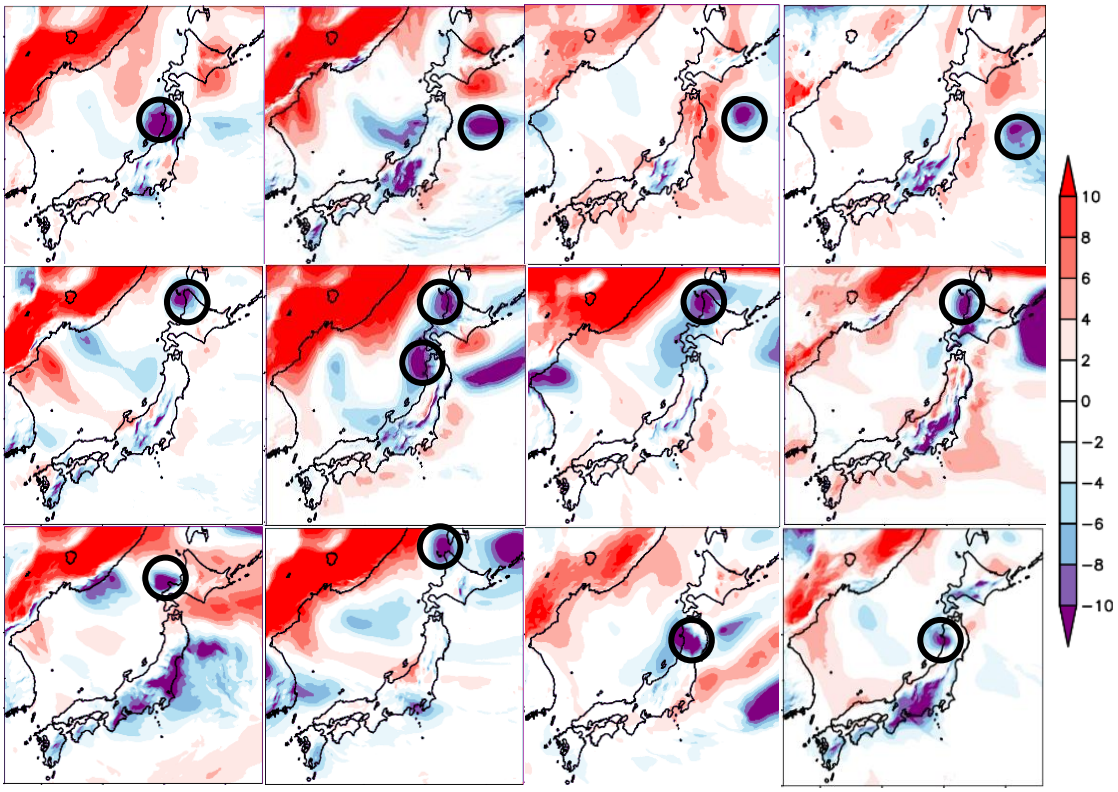


Figure.10　局地場における 850hPa 面のジオポテンシャル高度［m］を色で示す．黒丸内が確認された小低気圧を示す（一部抜粋）．

4-2 平均以上の降雪があった事例の合成図解析の結果と考察

4-2-1 小低気圧と降雪量の関係

小低気圧の有無と豪雪の対応を確認する為，抽出手法 2 により各地域の大雪が起こった事例を抽出し小低気圧を確認する．

局地データを用いた小低気圧の有無と存在確率を表 1 に示す．四日市型と岐阜型は平均以上の降雪のあった日の約 70%で北日本周辺に小低気圧が存在しており，名古屋型では 15%にとどまった．続いて，大規模データを用いて四日市型で小低気圧のある事例とない事例それぞれの合成図にて比較を行った．どちらの事例も北西風であり，大規模場はおおよそ似た場を示している事が確認された（Figure.11）．それを踏まえて小低気圧の有無と降雪量の関係について表 2 に示す．四日市型では小低気圧が存在する事例で降雪量が多く，岐阜型では大きな差はみられない事が示された．以上から四日市型では平均以上の降雪があるときに約 70%の確率で小低気圧が存在し，さらに小低気圧が存在するときは存在しない時と比べて降雪量が多い事がわかる．

表 1　小低気圧の有無と存在確率

	小低気圧有り/全事例数	存在確率（%）
四日市型	8/11	72.7
名古屋型	2/13	15.4
岐阜型	16/24	66.7

表 2　小低気圧の有無と平均事例降雪量（cm/事例）

	小低気圧有り	小低気圧無し
四日市型	17.6	5.3
名古屋型	20.0	10.6
岐阜型	19.6	20.3

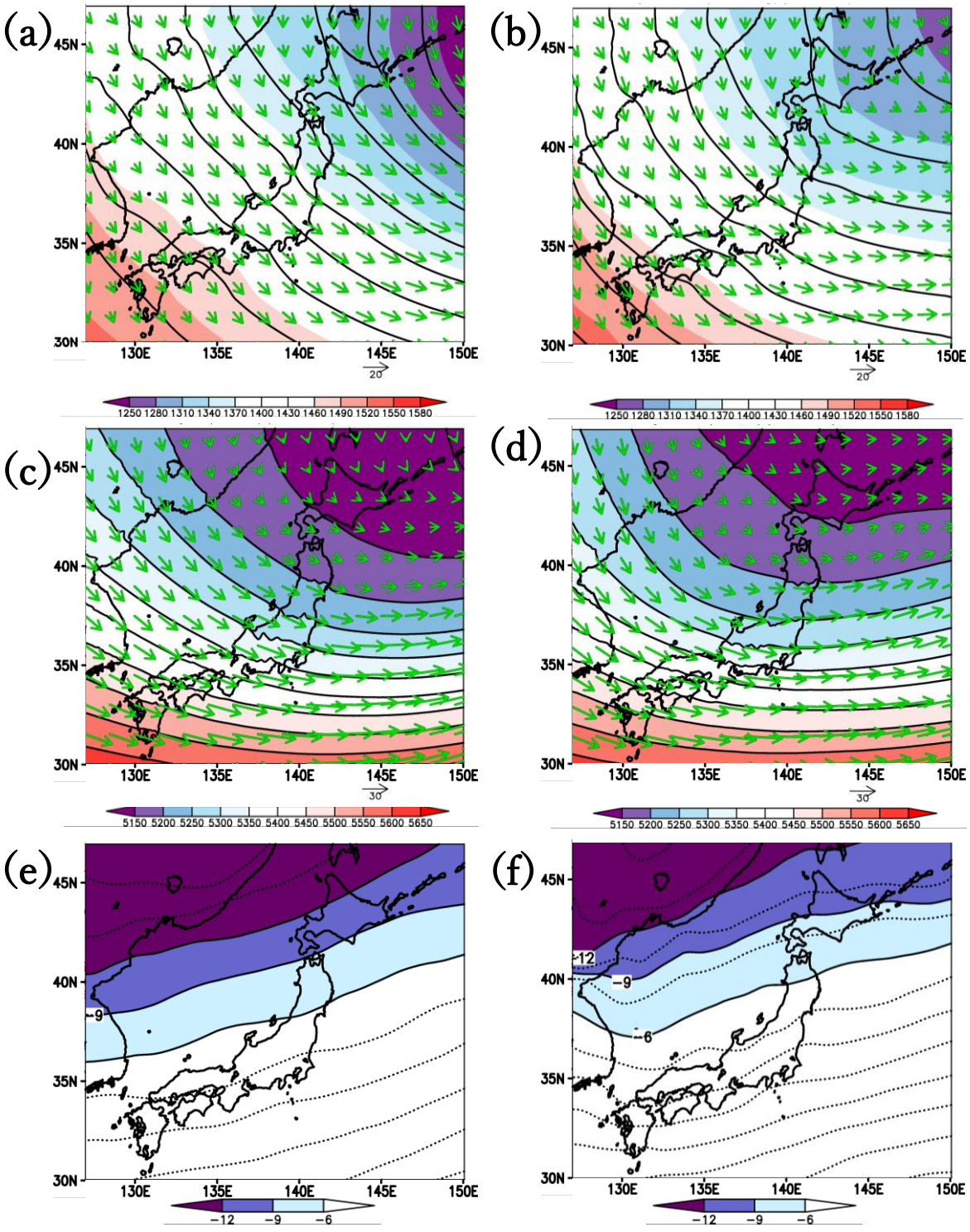
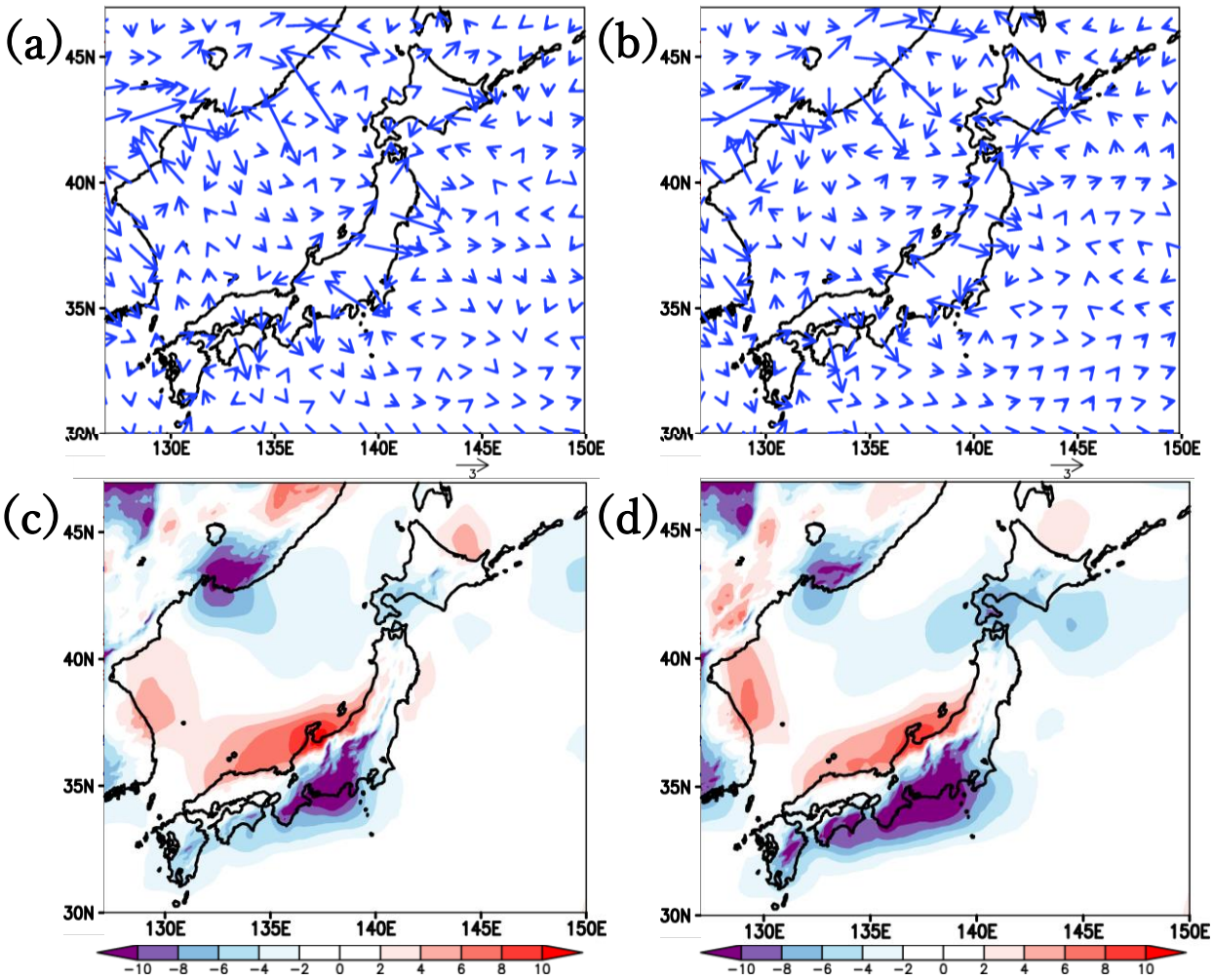


Figure.11　大規模場を示す．（a）～（d）はジオポテンシャル高度［m］を色と線で示し，風向風速［m/s］をベクトルで示す．（e）と（f）は気温［℃］を色と線で示す．（a）と（e）は 850hPa 面の小低気圧有り事例の合成図，（b）と（f）は 850hPa 面の小低気圧無し事例の合成図，（c）500hPa 面の小低気圧有り事例の合成図，（d）500hPa 面の小低気圧無し事例の合成図をそれぞれ示す．

4-2-2 小低気圧の有無と大気場の比較

降雪量と小低気圧の存在確率が対応している四日市型において，小低気圧が存在する事例と存在しない事例それぞれの局地場を Figure.12 に示す．局地場においてのそれぞれの変数は Figure.12 のようになる事が分かる．局地場において，小低気圧が存在する事例の合成と存在しない事例の合成の 850hPa 面の風向風速の偏差をとる（Figure.13a）．若狭湾以北で東風成分を持つ偏差になっている事がわかる（Figure.13b）．

東風偏差であることから次のように考えられる．大規模場における風向風速はほぼ同じの為 Figure.14 では青のベクトルで示す．Figure.13（b）より，局地場における風向風速は小低気圧が存在する事例でより東風が強く吹く（もしくは，小低気圧が存在する事例で西風が弱い）為風向は Figure.14 では赤のベクトルで示す．現実場は大規模場と局地場の和によって成り立つ為，Figure.14 では緑のベクトルで示す．従って，現実場は小低気圧が存在する事例の方が北風傾向になる事を示唆する．



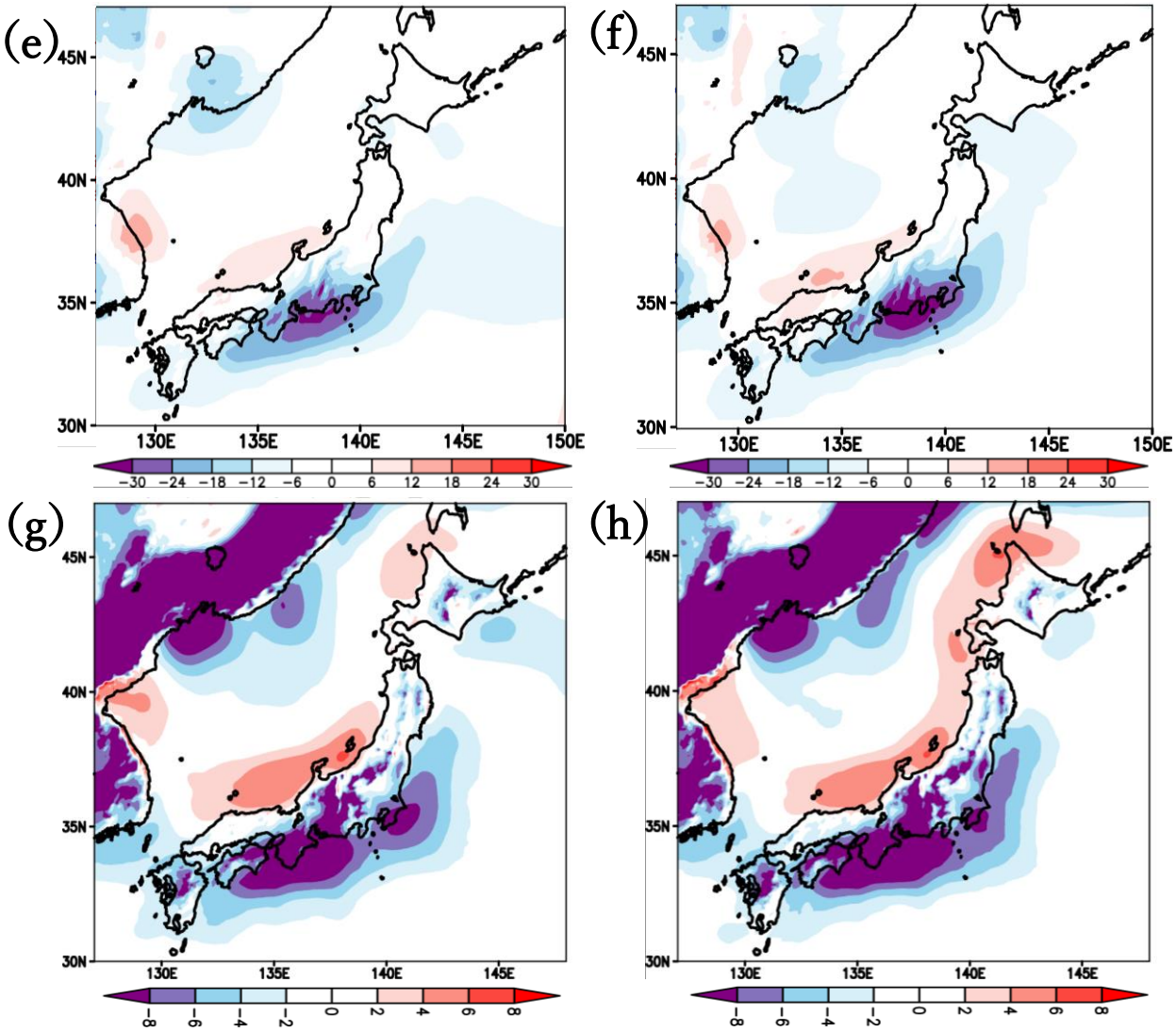


Figure.12　局地場を示す．（a）と（b）は風向風速［m/s］を示し，（c）～（f）はジオポテンシャル高度［m］を示し，（g）と（h）は 975hPa と 700hPa の層厚（気温とほぼ同じ）を示す．（a）と（c）は 850hPa 面の小低気圧有り事例の合成図，（b）と（d）は 850hPa 面の小低気圧無し事例の合成図，(e) 500hPa 面の小低気圧有り事例の合成図，(f) 500hPa 面の小低気圧無し事例の合成図，（g）小低気圧有り事例の合成図，（h）小低気圧無し事例の合成図をそれぞれ示す．

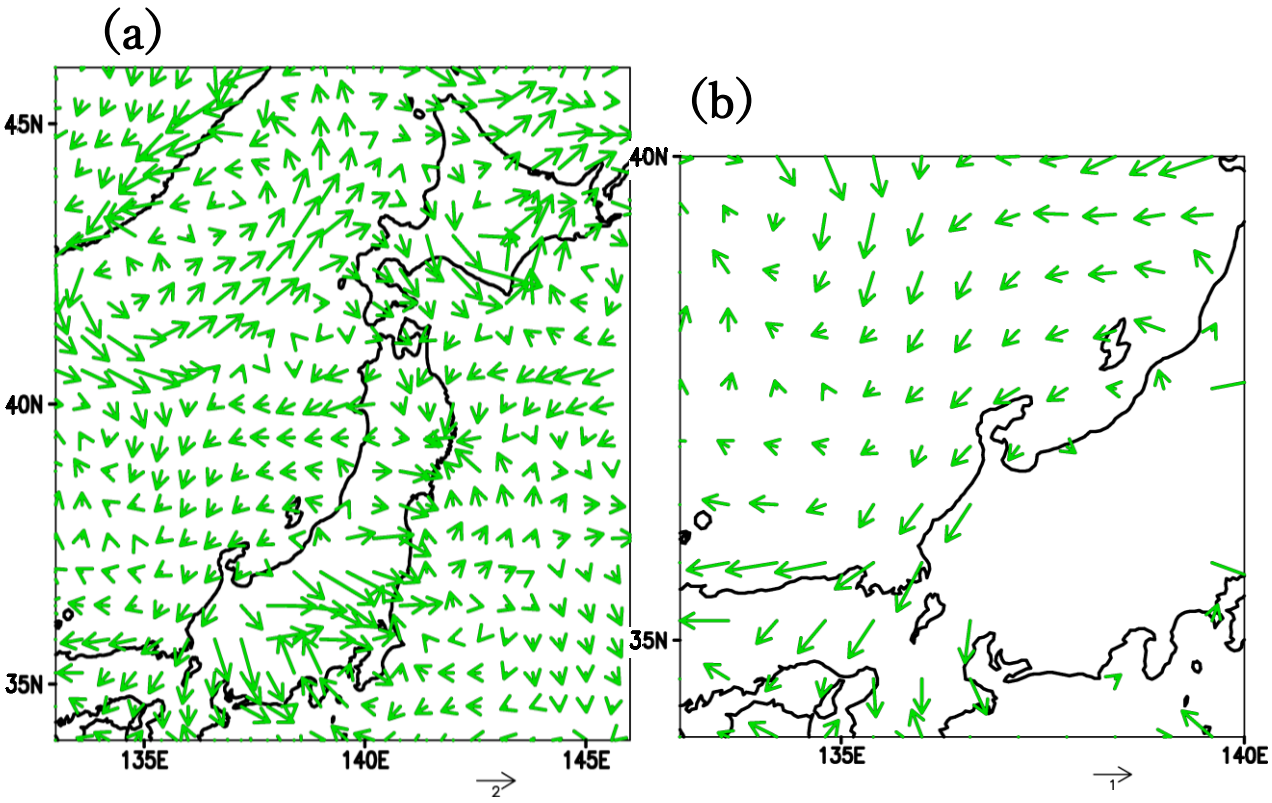


Figure.13　（a）は Figure.12 の（a）から（b）の偏差をとった 850hPa 面の風向風速［m/s］をベクトルで示す．（b）は（a）の北陸以北の東風成分を持った領域の拡大図

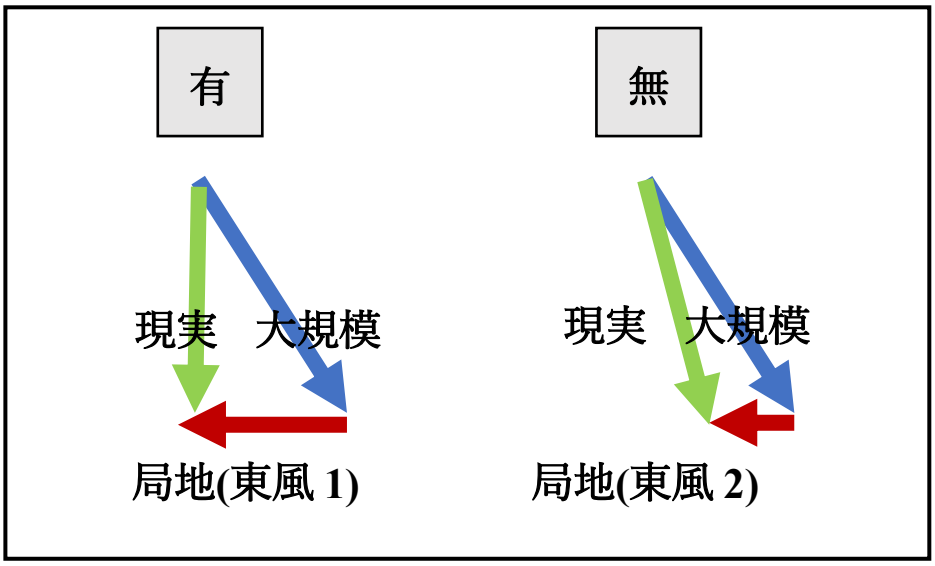


Figure.14　Figure.13 が東風偏差になることで考えられる現実の場と大規模場の風向を表した模式図を示す．

第5章　まとめ

結果より，現実場のジオポテンシャル高度において，四日市型では名古屋型と比較して南に低気圧が存在するような西高東低の気圧配置である事が分かった．風向風速においては，四日市型は名古屋型と比較して北寄りの北西風であることが分かった．このことから，先行研究では事例のみであった三重県北部への降雪条件が統計的に示された．局地場で比較すると，北海道の北部，秋田県沖周辺，東北の太平洋沿岸に有意な低気圧偏差が存在する事が分かった．また，その低気圧偏差は小低気圧による影響が含まれている事が示唆された．

小低気圧と降雪量の関係について着目していくと，四日市型は平均以上の降雪があった事例では約 70%の確率で小低気圧が存在している事が分かった．さらに，小低気圧が存在していた事例は，存在していない事例よりも降雪量が多い事が分かった．この 2 つの傾向は四日市型で特徴的な為，四日市型の小低気圧が存在する事例と存在しない事例の大気場の比較を行った．すると，小低気圧が存在する事例は小低気圧が存在しない事例よりも東風偏差である事が分かった．つまり，小低気圧が存在する事例は存在しない事例よりも北風傾向である事が示唆された．序論で示した先行研究より北寄りの風向であると三重県北部への降雪をもたらす事が示されている．その為，結論としては，小低気圧がわずかに風向を北風傾向に変化させ，三重県北部の降雪を強化している要因の 1 つである事が示唆された．

第 6 章　謝辞

本研究を進めるにあたり，研究方針から解析に至るまで熱心なご指導をして頂いた指導教員である立花義裕教授に深く感謝申し上げます．また，特定事業研究員として本気象・気候ダイナミクス研究室にお越しいただいた山崎孝治氏には本研究に対するアドバイスをご教授して頂きました事深く感謝致します．そして，自然環境システム学講座の先生方には，授業で多くの知識を学ばせて頂けただけなく，合同ゼミで研究に対してのアドバイスをして頂いた事に深く感謝致します．特に研究室ゼミにお越しいただいた際などにアドバイスを頂きました西井和晃准教授，万田敦昌准教授，飯島慈裕准教授には深く感謝致します．

そして，同研究室の先輩方には研究内容に対する多くの助言やプログラミングの技術，多くの専門知識を教えて頂き，大変お世話になりました．研究生活を共に頑張ってきた 4 年生をはじめ同研究室の学生の皆様に改めて感謝致します．

参考・引用文献

浅井冨雄，1993:1992 年度日本気象学会秋季大会シンポジウム「“都市の豪雪”-ここまできた降雪の観測と予測」の報告　4．冬季日本海上に発生する帯状雲と小低気圧の数値実験，***天気***，**40**，388-392

二宮洸三，1993:1992 年度日本気象学会秋季大会シンポジウム「“都市の豪雪”-ここまできた降雪の観測と予測」の報告　5．降雪をもたらす meso-αscale low を含む multi-scale process，***天気***，**40**，392-400

藤吉康志，藤田岳人，小尻利治，寶馨，武田喬男，池田繁樹，1991：複雑山岳地形が風下の降雪分布に及ぼす効果−濃尾平野を例として−***天気***, **43**, 391-408

Kayaba．N.，T．Yamada，S．Hayashi，K．Onogi，S．Kobayashi，K．Yoshimoto，K．Kamiguchi，and K．Yamashita，2016：Dynamical Regional Downscaling Using the JRA-55 Reanalysis（DSJRA-55）．***SOLA***，**12**，1-5

出典：地域気象観測システム（アメダス）
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/amedas/kaisetsu.html

デジタル台風
http://agora.ex.nii.ac.jp/cgi-bin/weather-chart/show.pl?type=au850&id=2017011412&lang=ja

新潟県準リアルタイム積雪深分布
http://platform.nhdr.niigata-u.ac.jp/~snow-map/index.php?FrontPage

Appendix

1. ジオポテンシャル高度

ジオポテンシャル高度とは，地球上のある場所の高度を示す指標であり，単位質量を平均海面から地球上のある場所の高度まで引きあげる為に必要な仕事量で表せられる．つまり，位置エネルギーを質量で割った値と同値である．地球の平均海面を基準とし，鉛直方向にz軸をとって計算を行う．平均海面からの高さzによってジオポテンシャルを定義すると，次式で表される．

$$\Phi \equiv \int_0^z g dz$$

Φ：ジオポテンシャル，g：重力加速度，z：高度

また，ジオポテンシャルΦを標準重力加速度g_0で割った量をジオポテンシャル高度Zと定義する．

$$Z \equiv \frac{\Phi}{g_0} = \frac{1}{g_0}\int_0^z g dz$$

対流圏での重力加速度 g は，標準重力加速度g_0の値とほとんど一定である．また，ジオポテンシャル高度 Z と通常の高度 z もほぼ等しい．現在の高層天気図は，等圧面上の天気図であり，等高度線は等ジオポテンシャル線で描かれている．その為，ジオポテンシャル高度を使用した．

2. ウェルチの t 検定

ウェルチの t 検定とは，統計学において，2 標本の位置の検定であり，2 つの母集団が等しい平均を持つという仮説を検定する為に用いられる．ウェルチの t 検定は 2 つのデータの母分散が等しいとは限らない時に用いる検定法である．

最初に統計量 t を次式によって定義する．

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}}$$

$X_1 X_2$：標本平均，$s_1 s_2$：標本分散，$N_1 N_2$：標本数

この推定分散と関連した自由度γは次式ように表す．

$$\gamma \approx \frac{\left(\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}\right)^2}{\frac{s_1^4}{N_1^2 \cdot (N_1 - 1)} + \frac{s_2^4}{N_2^2 \cdot (N_2 - 1)}}$$

t 及びγが計算されると，これらの統計量は，帰無仮説を検定する為に t 分布とともに用いる事ができる．

3. 抽出した事例

i. 抽出方法 1

・四日市型（全 19 事例）

年	月	日	降雪量(cm)
1980	1	7	1
1980	2	19	8
1981	12	14-15	6
1982	1	18	6
1982	1	29	8
1983	1	11	8
1984	1	22	2
1984	2	6	2
1984	2	10	5
1984	2	27-28	6
1985	1	30	5
1985	12	17-18	13
1986	1	14	2
1986	2	25-26	12
1989	1	28	1
1991	12	29-30	17
1992	2	1	2
1994	12	15	1
1995	12	24-26	84

・名古屋型（全 10 事例）

年	月	日	降雪量(cm)
1983	1	11	5
1984	1	17	2
1984	2	7	18
1984	2	8	12
1990	1	24	2
1992	1	19	1
1993	1	29	2
1993	12	23	2
1994	2	3	11
1995	2	1	1

ii. 抽出方法 2

・四日市型（全 11 事例）

年	月	日	降雪量(cm)
1982	1	18	6
1982	1	29	8
1983	1	22	8
1984	2	7	8
1984	2	10	5
1985	1	30	5
1985	12	17-18	13
1986	2	25	8
1991	12	29-30	17
1992	12	24	5
1995	12	24-26	84

・名古屋型（全 13 事例）

年	月	日	降雪量(cm)
1981	1	7	5
1981	2	27	8
1983	1	11	5
1984	2	7-8	30
1984	12	25	9
1986	2	28	6
1987	1	12	6
1987	2	2	7
1988	2	3-4	31
1988	2	8	12
1991	2	25	10
1993	1	28	7
1994	2	3	11

・岐阜型（全 24 事例）

年	月	日	降雪量(cm)
1980	1	18	6
1981	1	4-7	42
1981	1	11-14	47
1981	2	1	6
1981	2	11	6
1981	2	26-27	23
1982	1	19	20
1984	1	26	30
1984	2	7-9	35
1984	12	24-26	45
1985	2	24	10
1986	1	23	7
1986	2	28	11
1987	2	25-27	37
1988	2	3	38
1988	2	7	14
1988	12	17	6
1991	1	6	19
1991	2	22	7
1991	2	25	22
1992	12	24	6
1993	1	28	19
1995	1	15	7
1995	12	25	8