

平成 23 年度 卒業論文

大津波は気象に影響を与えうるのか？

気象は地震を誘発するか？

**Does massive tidal wave influence on
meteorological fields?**

**Does the meteorological fields trigger off
earthquake?**

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 508320

大西 将雅

指導教員：立花義裕教授

要旨

2011 年 3 月 11 日に起きた東北地方太平洋沖地震において、太平洋プレート西部が高気圧傾向の時に大地震の余震が多く発生するという関係性が、本研究によって初めて明らかとなった。結果が得られた。また、震源域周辺にて大地震発生前に急激な気圧の下降が見られ、北米プレート上の気圧が急激な下降を見せていたことが、気象庁の AMeDAS データより明らかとなった。

上記二つの解析結果から、太平洋プレートの高気圧傾向と北米プレートの低気圧傾向は、プレート間のシアーストレスを強くし、地震が発生する原動力のひずみが増すことが予想され、この気圧勾配が大地震発生のトリガーになった可能性が示唆される。

また、この大地震によって発生した大津波は海水混合による海面水温低下や地表面を海水が覆う現象を引き起こした。この海面・陸面の変動が大気への影響があるかどうか解析を行った。

そのため、東北地方太平洋沖地震が発生した日と同じ気圧変動をする(気象条件が同じ)日と比較した。その結果、気温変動が大津波襲来前までは非常によく似ており、その気温変動の相関係数も 0.90 であったのに対し、大津波襲来後は相関係数が 0.61 と下がる結果となった。

海面水温の下降と一時的に陸面を覆った海水による一時的海面エリアの拡大が、大気海洋の相互作用の変化による影響をもたらした。この影響が気象条件とは異なる影響として、気温の変動に変化をもたらした可能性が示唆される。

ゆえに、大津波によって大気、つまり気象が影響を受けた可能性を示唆できた。

目次

要旨	2
1 章 序論	4
1-1 研究背景	4
1-2 東北地方太平洋沖地震	5
1-3 津波	6
2 章 使用データ	8
2-1 AMeDAS データ	8
2-2 天気図データ	8
2-3 NCEP/NCAR 再解析データ	9
2-4 SST データ	10
2-5 地震データ	11
3 章 解析手法	12
3-1 気象は地震を誘発するか?	12
3-1-1 余震活動と気圧偏差との関係性について	12
3-1-2 地震発生日の気圧変動と地震発生の関係性	14
3-2 大津波は気象に影響を与えうるのか?	14
3-2-1 大津波による海水の鉛直混合	14
3-2-2 地震発生日と同様の気象条件の日の抽出	15
4 章 解析結果と考察	16
4-1 気象は地震を誘発するか?	16
4-1-1 余震活動と気圧偏差との関係性について	16
4-1-2 地震発生日の気圧変動と地震発生の関係性	17
4-1-3 地震発生におけるその他の要因の可能性	18
4-2 大津波は気象に影響を与えうるのか?	19
4-2-1 大津波による海水の鉛直混合	19
4-2-2 SST 変動による大気への影響	21
5 章 結論	29
謝辞	31
参考・引用文献	32

1章 序論

1-1 研究背景

地球は、様々な奇跡の元に存在している。また、我々人類がこうして生きているのも、地球の奇跡の賜物と言える。地球は宇宙に存在し、空は大気に覆われ生命の源である海と植物が根付く大地。それらは互いに密接に影響し合っており、未解明な問題がたくさん存在する。

自分は「地震」と「気象」に非常に大きな興味を持っている。これまで地震の研究において様々なものがあつたが、Yamaguchi *et al.* (1934) のように気圧配置の形が地震発生数に影響する、という自分にとってドンピシャな論文に出会い、気象と地震にはやはり何か関係性があるのではないかと考えた。気圧の変動は少なからず地殻に圧力を及ぼす。この気圧配置などの気象学的要素と地震発生数における関係を模索することは、実際に容易なことではなかろう。1934年以降、**地震**と**気象**の2つの観点から模索した論文は無い。ゆえにほとんど参考文献がなく、未知なる学問領域であると言っても過言ではないだろう。

2011年3月11日14時46分。未曾有の大地震が日本を襲った。その名も「東北地方太平洋沖地震」。日本における観測史上最大規模の大地震であり、死者・行方不明者は約2万人(2012年2月現在)、停電世帯はピーク時で800万戸以上、襲来した津波は最大9.3m以上。

ところで大地震は今までのエネルギーの蓄積が限界に達し、引き起こされるものである。この最後の一押しになった力がなんなのかは非常に気になる場所であり、この大地震による影響がどのような分野まで影響があるのかも興味深いところである。

この大地震の後は、非常にプレートが不安定な状態にあり、かなり大きな余震も頻繁に起きている。不安定な状況ゆえ、固体地球以外の様々な影響をトリガーとして地震が発生しやすい状況にあることが推察される。

「気象」が「地震」に及ぼす影響というのは、非常に小さいかもしれない。しかし、地震が発生するのは、今までに蓄積されたエネルギーの解放であり、どんな小さな影響でもトリガーになる可能性を秘めている。

従って、東北地方太平洋沖地震の余震に着目し、気圧配置などの気象学的要素との関係を解析していくことで、気象の変動と地震発生の上に相関が認められれば、気象が地震発生のトリガーになっている可能性が示唆できるはずである。

また、大地震発生にともない、大津波が発生した。一般に普段海水は、冷たい海水は下層に、暖かい水は上層に存在し成層を成していることが多い。しかし、この大津波によって海水の鉛直混合が生じ、海面水温が低下するのではないかと予想できる。また、津波はかなり内陸部まで到達しており、しばらく地表を海水が覆っている状況になった。ゆえに、上記二つの変化によって、何かしらのローカルな気象に影響があるのではないかと予想出来る。

この研究に先行研究は無く、非常に斬新かつ大胆な研究であろう…。

地震発生のトリガーと大津波が気象に及ぼす影響について、提示していくとしよう！！

1-2 東北地方太平洋沖地震

地震の要素は以下の通りである。

- ・発生時刻 : 2011 年(平成 23 年)3 月 11 日金曜日 14 時 46 分 18.1 秒(日本標準時)
- ・震源 : 三陸沖(牡鹿半島の東南東約 130km 付近, 北緯 38 度 6 分 12 秒 東経 142 度 51 分 36 秒)
- ・震源の深さ : 約 24km
- ・地震の規模 : マグニチュード 9.0
- ・最大深度 : 震度 7(宮城県栗原市築館町, 計測震度 6.67)
- ・断層型 : 西北西-東南東に圧力軸を持つ逆断層型
- ・地震の種類 : 太平洋プレートと北米プレートの境界域(日本海溝付近)における海溝型地震

日本国内において、幅広い範囲にて大きな地震が観測された。Fig.1 は日本各地での震度分布である。

この大地震は 1923 年に発生した大正関東地震の約 45 倍、1995 年に発生した兵庫県南部地震の約 1450 倍のエネルギーの観測史上最大の地震であるとともに、1900 年以降でも世界で 4 番目に大きな巨大地震であった。

本震では Fig.1 に示すように非常に広範囲で大きな揺れを観測し、本震後の短時間の間では、本震の震源付近で M6〜7 以上の複数の余震・誘発地震が発生した。

地震が発生した 3 月 11 日、気象庁はこの地震を「平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震」と命名し、英文による名称として「The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake」と命名。地震発生後は各メディアや組織・団体において震災としての名称は統一されておらず、「東日本大震災」

や「東北関東大震災」などの呼称が用いられていたが、日本政府は 2011 年 4 月 1 日の持ち回り閣議で、この地震による震災の名称を「東日本大震災」とすることを了承、発表し、それ以降は各メディアでの呼称も「東日本大震災」に統一された。

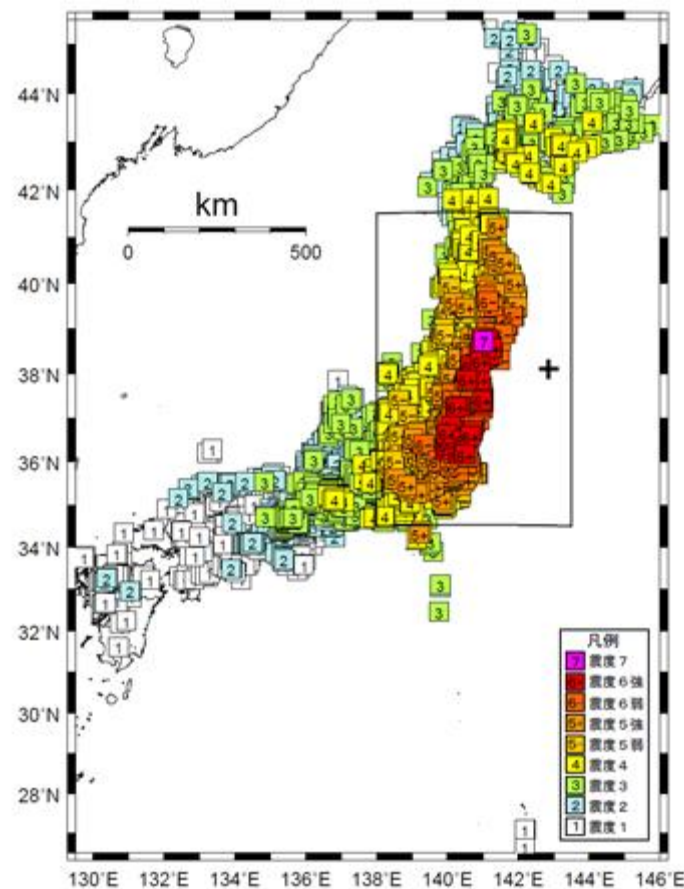


Fig.1 東北地方太平洋沖地震の震度分布(気象庁作成)

1-3 津波

地震によって非常に大規模な津波が発生し、Fig. 2 に示すように北海道から千葉県にかけて大津波が押し寄せ、震源域から非常に遠い地方にも津波が襲来したことがわかる。特に岩手県・宮城県・福島県の 3 県では、海岸沿いの集落が軒並み水没したのをはじめ、仙台平野などの平野部では海岸線から数 km 内陸にわたる広範囲が水没、遡上した津波により河川沿岸ではかなり内陸まで水没した。この高い津波は、各地で防潮堤や堤防を乗り越え、建築物や構造物を破壊し、それらが瓦礫となって車などと一緒に更に内陸まで侵入した後、引き波となって瓦礫を海まで引きずり出した後、後続の波によって再び内陸へという形で繰り返し沿岸を襲い、甚大な被害を出した。航空写真などをもとに国土地理院が分析したところによると、津波により浸水した範囲は青森・岩手・宮城・福島・茨城・千葉の 6 県 62 市町村で 561 km²に及んだ。

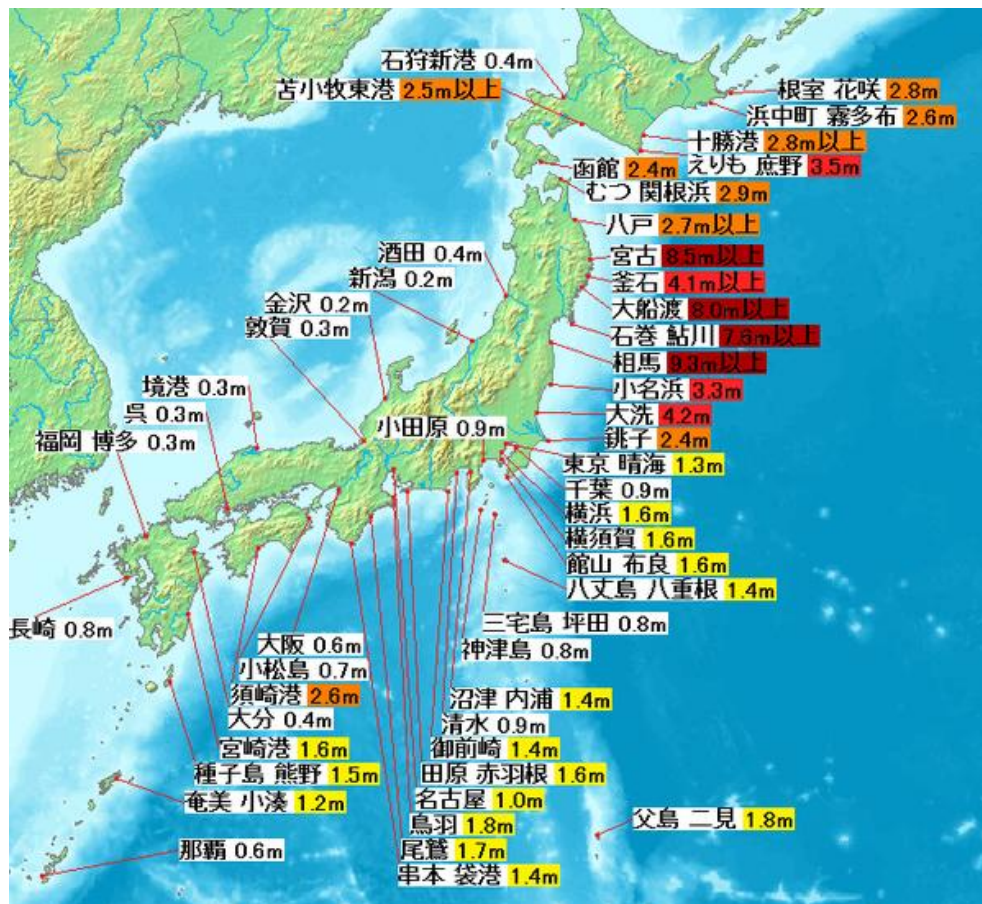


Fig.2 東北地方太平洋沖地震における津波の高さ(気象庁作成)

2 章 使用データ

2-1 AMeDAS データ

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。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ために、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。アメダスは1974年11月1日から運用を開始し、現在、降水量を観測する観測所は全国に約1300箇所ある。このうち、約840箇所(約21km間隔)では降水量に加えて、風向・風速、気温、日照時間を観測している。

本研究では、気象庁 HP(<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)にて取得した、海面気圧、気温の AMeDAS データを用いた。なお、東北地方太平洋沖地震後は、関東・東北地方の広範囲で大停電や大津波があったために、データの残っている観測点が県庁所在地のものしか無かったため、その中でも一番震源に近く、海にも近い宮城県仙台市のデータを用いた。

2-2 天気図データ

2011年～2002年の天気図に関しては、気象庁 HP の日々の天気図のページ(<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>)より取得。また、1992年～2001年における天気図は気象業務支援センター発行の『気象年鑑』に記載されている「日々の天気図」ページのものを使用。いずれの天気図も午前9時のものである。Fig.3は2011年3月11日東北地方太平洋沖地震発生日午前9時の天気図である。日本列島西部に高気圧、東部に低気圧、オホーツク海上に低気圧があり、震源地に向かって低気圧が伸びている。

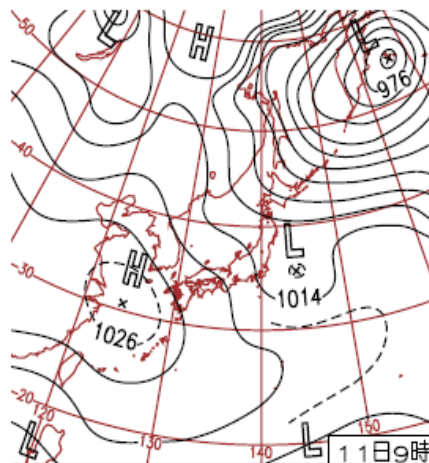


Fig.3 2011年3月11日午前9時の気象天気図

2-3 NCEP/NCAR 再解析データ

NCEP/NCAR 再解析データとは National Center for Environmental Prediction /The National Center for Atmospheric Research Reanalysis を指し，空間分解能は $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ である．期間は 2011 年 4 月 11 日～7 月 31 日の全 96 日間の日平均地上気圧データを使用した．また，本研究では北緯 30° から北緯 65° ，東経 100° から東経 180° を研究対象領域とした．例として Fig.4 として 2011 年 3 月 11 日の海面気圧(12 時)を示す．Fig.3 の気象庁が発表している天気図とよく対応していることがわかる．

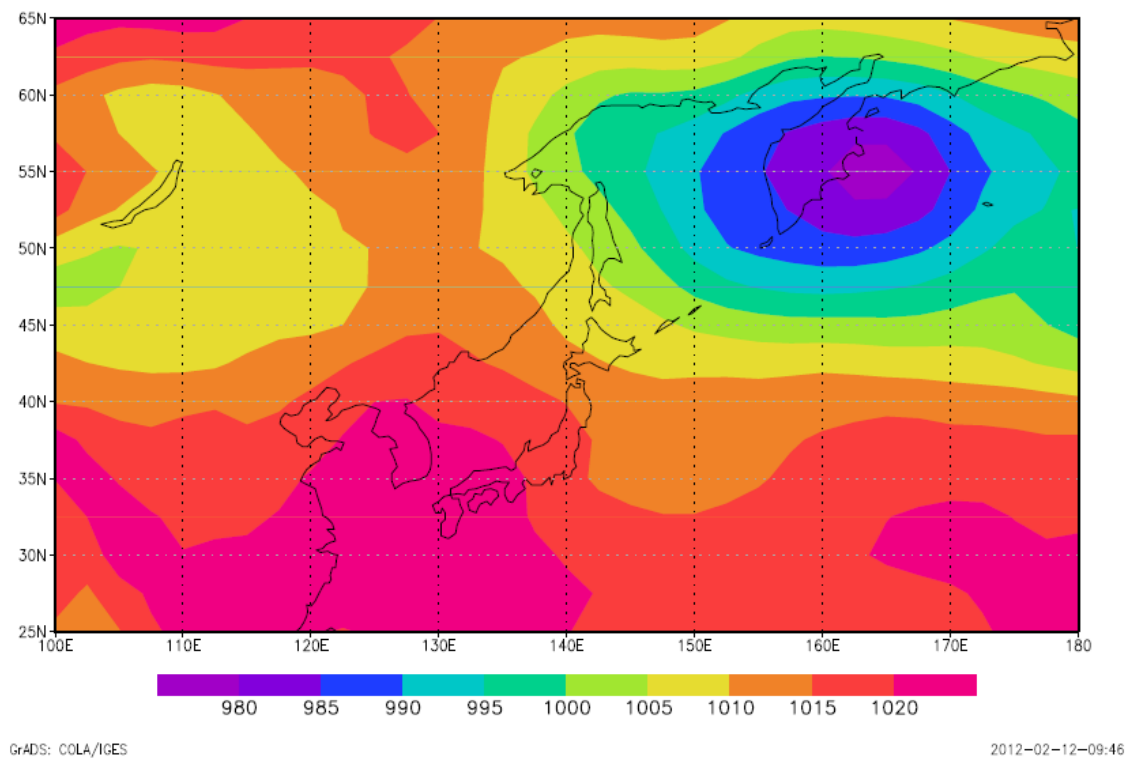


Fig.4 2011 年 3 月 11 日の海面気圧(東経 100 度～180 度、北緯 25 度～65 度、シェード：海面気圧(hPa))

2-4 SST データ

東北区水産研究所で管轄されているデータを使用. 使われている観測機器の詳細は以下の通り。

観測機器：水温リモート監視装置(AEM-04H)の改良型

水温精度： $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ($-0.5\sim 35^{\circ}\text{C}$)

水温測定：最大 16 層

データ伝送方式：携帯電話パケット
通信

データ形式：CSV 形式

データ送信先：最大 20 か所

防水性：IP67(伝送装置本体)

寸法：405(W)×300(D)×390(H)mm

質量：約 8kg

電源：太陽電池パネル搭載(周年運用)



Fig.5-1 観測ブイの写真(地震前)



Fig.5-2 観測ブイの写真(地震前)



Fig.5-3 観測ブイの写真(地震後)



Fig.5-4 観測ブイの写真(地震後)

東北地方太平洋地震後は大津波や停電の影響などでデータの得られなかった観測点がほとんどであったが、宮城県江の島の観測点のみ無事だったので、本研究ではそのデータを使用した。Fig.5-1 から Fig.5-4 はいずれも宮城県職員の小野寺さんから写真を提供していただきました。この写真より、地震の前後で外見からは機器の故障は無かったように思われる。尚、使用データの対象期間は 2011 年 3 月 10 日～3 月 12 日とした。

2-5 地震データ

日本気象協会が公表している過去の地震データを使用(<http://tenki.jp/earthquake/entries>)

日本全国の地震データから、東北地方で起きた地震だけを抽出して使用した。

3 章 解析手法

3-1 気象は地震を誘発するか？

3-1-1 余震活動と気圧偏差との関係性について

先行研究の Yamaguchi *et.al*(1934)より, 地震が多い時の特徴的な気圧配置が示されている(Fig.6).

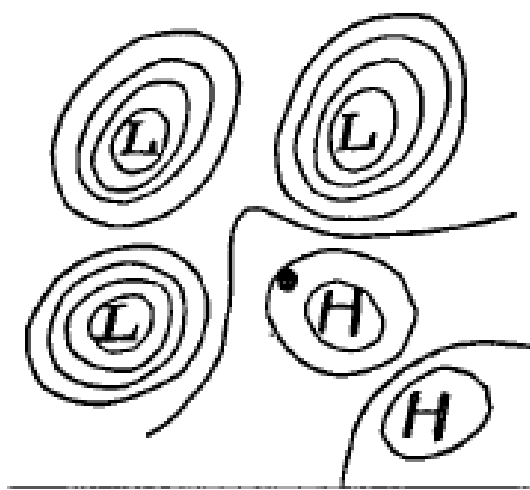


Fig.6 Yamaguchi *et. al*(1934)より, 地震発生時の特徴的な気圧配置(黒丸は震源地)

気圧が高い時には地殻は押され, 気圧が低い時には持ち上げられる. 故に地震が発生するときには高気圧・低気圧に関する特徴的な気圧配置があるものと仮定した.

また, 巨大地震後は, 地殻が大変不安定な状況になるため, 余震として地震が起こりやすい状況にある. ゆえに今回は東北地方太平洋沖地震に着目し, 解析を行う. 3月1日から7月31日までの一日の地震発生数を Fig.7 に示す.

地震は固体地球の現象なので指数関数的な減衰であると仮定し, 解析対象期間は3月11日~4月26日はノイズが多いので省いて, 4月27日~7月31日の96日間に着目. Fig.7ではノイズが多く, 解析対象から除外する部分を紫で, 着目する部分を赤枠で囲ってある.

また, 4月27日~7月31日の地震発生数グラフに対して最小二乗法による近似曲線を用いてトレンドを除去した(Fig.8). この解析により余震における地震発生頻度がわかるため, この地震発生頻度と海面気圧から気候値を差し引いた気圧偏差とで相関を取った.

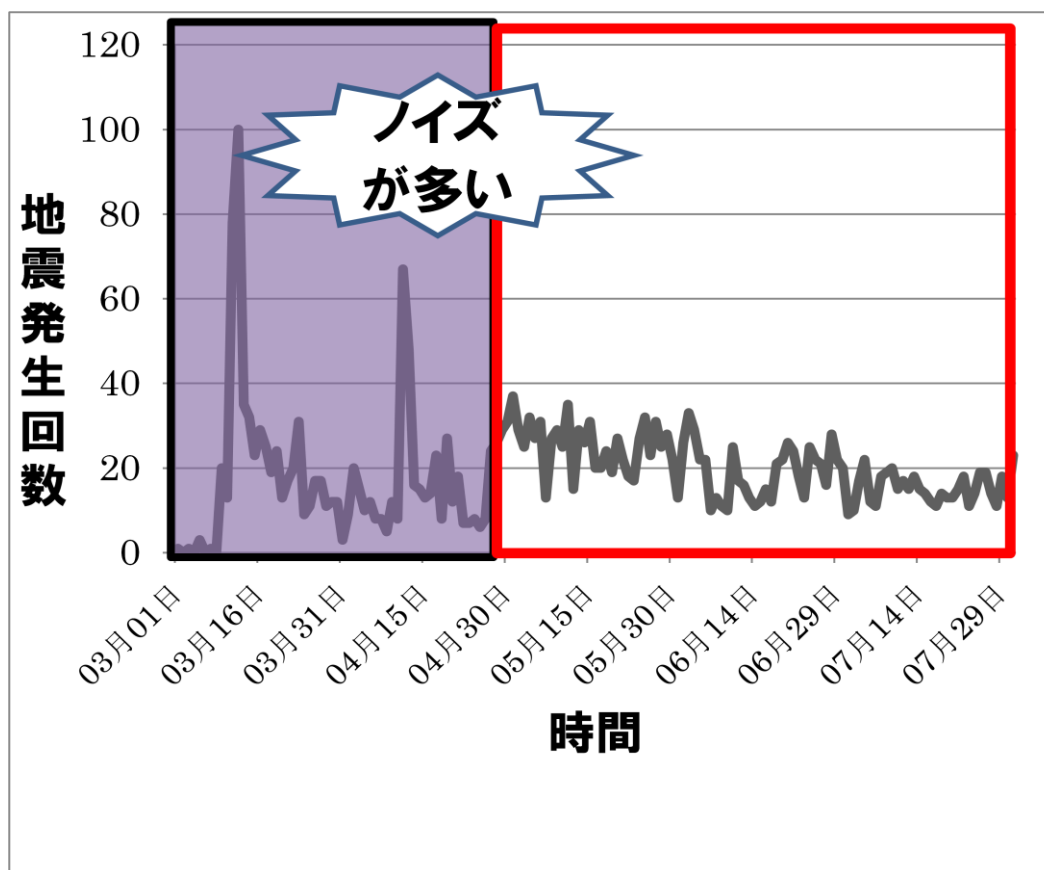


Fig.7 地震発生数と時間の関係

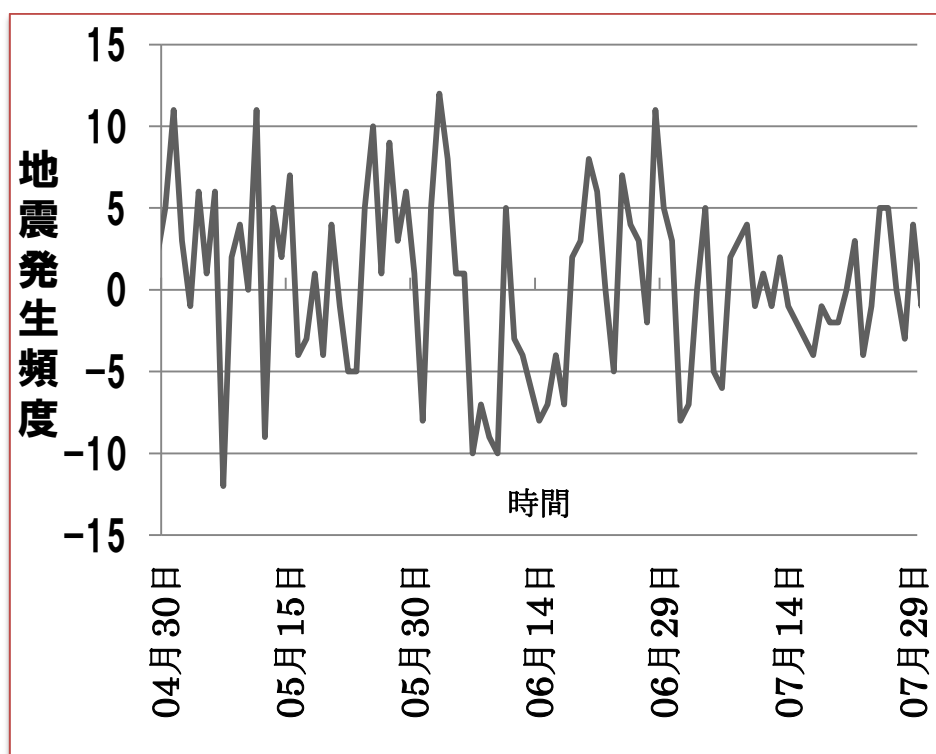


Fig.8 地震発生震度と時間の関係

3-1-2 地震発生日の気圧変動と地震発生の関係性

巨大地震の発生において、気圧配置による影響も考えられるが、もっと局所的なスケールにおいて気圧の変動が影響していると仮定した。たとえば、高気圧傾向であった状態で、急激に低気圧傾向に変われば、その変化の加速度で大きな力が生じ、その気圧変動が地震発生のトリガーになると仮定し気圧変動を調べる。

3月11日の仙台・石巻・福島・若松・白河・小浜名・盛岡・宮古・大船渡・青森・秋田・山形・新庄の地震前後の気圧偏差を示していく。気圧偏差は、その地点の最高気温からの差として計算した。

東北地方太平洋沖地震だけでは事例として少ないので、過去に三陸沖で起きた巨大地震である、三陸はるか沖地震についても同様の解析を行った。

以下が三陸はるか沖地震の概要である。

発生時刻：1994年12月28日21時19分

震源地：八戸東方約180kmの三陸はるか沖

マグニチュード：7.5

3-2 大津波は気象に影響を与えうるのか？

3-2-1 大津波による海水の鉛直混合

暖かい水は上へ、冷たい水は下へ沈むものなので、海水もこの原理に従う。故に、海水面に暖かい水、海底面に冷たい水が存在する場合が多い。この東北地方太平洋沖地震においては、非常に大きな津波が発生し、海底面付近の水ごと陸面に大津波として浸水した。そしてありとあらゆるものを飲みこみながら浸水した津波は、やがて海へと戻っていく。この際に海水は混合されたと考えられる。

東北地方太平洋沖地震が発生したのが3月なので、海水面が冷却され混合されている場合も多く、最初の仮定による成層状態になっているとは限らない。よって、まずは大津波前後のSSTを比較し、海水混合が起こったのかどうかを検証した。

3-2-2 地震発生日と同様の気象条件の日の抽出

SST が変動することで、大気が呼応し、変動することが考えられる。まずは、地震が発生した日の気温変動が、その気象条件において異常な変動かどうかを推定する必要がある。そのために、地震が発生した日と同様な気象条件の日をピックアップした。方法としては、過去 1992 年～2011 年の気象天気図を目視で比較しピックアップした。その後、地震発生日(3 月 11 日)とピックアップしてきた各々の日の 1 日の気圧変動との相関を取った。この時、気圧変動はラージスケールの気象変動のみに依存し、大津波前後での気圧変動は無かったものと仮定している。

地震発生日とピックアップしてきた日の気圧変動の相関係数が 0.8 を超えるもののみを選び、全部で 10 日分の地震発生日と同様の気象条件の日をピックアップすることに成功した。

3-2-3 地震発生日と気象条件が同じ日との違い

自身発生日と気象条件が同じ日とで、気温変動に違いがあれば、地震が発生した 3 月 11 日は、木象条件だけでなく他の要因、つまり海の鉛直混合による海の影響を受けた可能性が色濃くなる。気温変動については、日平均気温からの偏差で解析をおこなった。

その後、地震発生日とピックアップしてきた 10 日との間で、大津波襲来前後 12 時間の気温変動の相関を取った。この時、大津波襲来時刻を 16 時と仮定した。

4 章 解析結果と考察

4-1 気象は地震を誘発するか？

4-1-1 余震活動と気圧偏差との関係性について

東北地方における地震発生頻度と気圧偏差(気候値を除いたもの)との相関解析を行ったのが Fig.9 である。

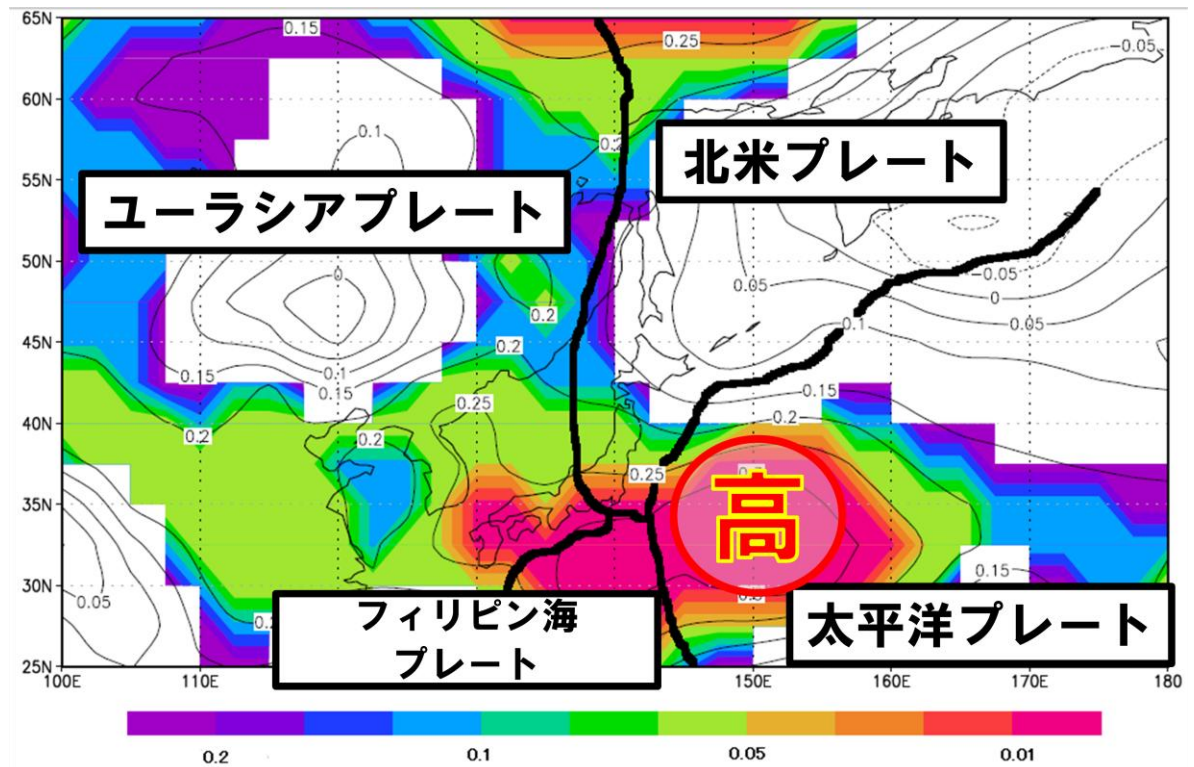


Fig.9 2011 年 4 月 27 日～7 月 31 日の地震発生頻度と気圧偏差相関図(シェードは有意水準を表し、コンターは相関係数を示す。)

太平洋プレート西部にて高気圧傾向の時に余震の発生頻度が高くなっている、という結果が得られた。有意水準 0.01、相関係数も 0.30 であり、気圧と地震発生数において関係性が認められた。

東北地方太平洋沖地震は海溝型地震であった。Fig.10 は海溝型地震の発生メカニズムを示したものである。太平洋プレートで高気圧傾向であると、図のように引きずり込みが強くなるので、地震も発生しやすくなるのが予測される。

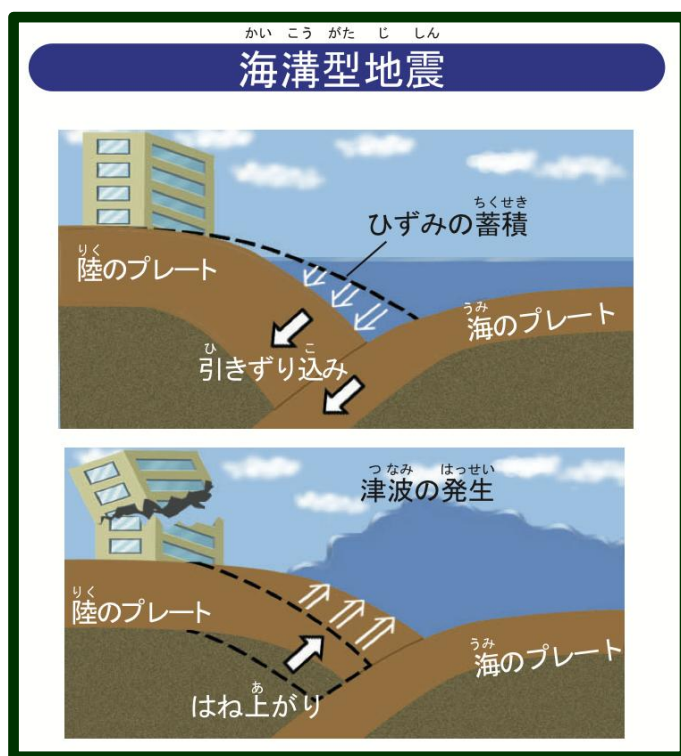


Fig.10 海溝型地震の発生メカニズム(静岡大学理学部より。)

4-1-2 地震発生日の気圧変動と地震発生の関係性

Fig.11 は 3 月 11 日の各地の気圧偏差をグラフに示したものである。図からわかるように、10 時くらいから 14 時くらいにかけて、約 1hPa/時で気圧が下降しているのが読み取れる。

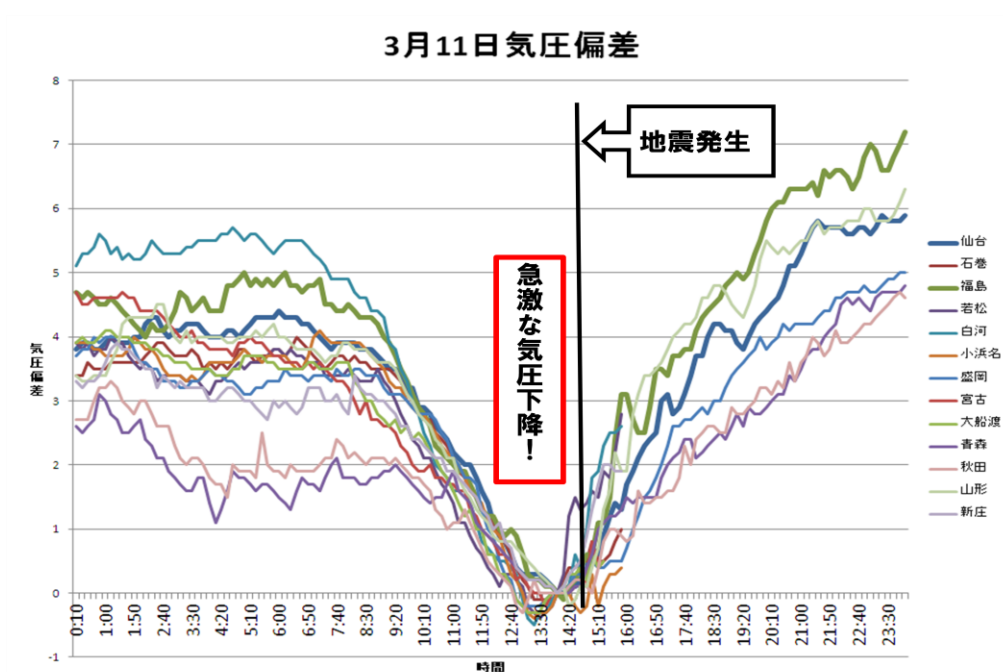


Fig.11 2011 年 3 月 11 日 0 時～24 時の気圧偏差(14 時の気圧を基準に、各時間の偏差を算出)

また、同様の解析を 1994 年 12 月 28 日に発生した三陸はるか沖地震についても行った。

その結果が Fig.12 である。

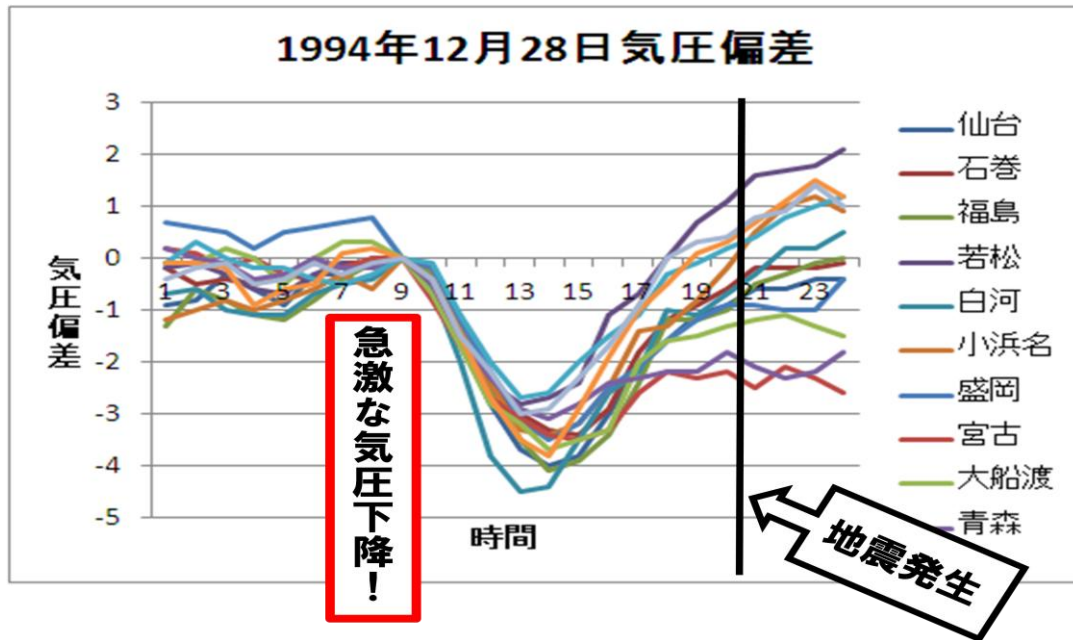


Fig.12 1994 年 12 月 28 日 0 時～24 時の気圧偏差(9 時の気圧を基準に各時間の偏差を算出)

4-1-3 地震発生におけるその他の要因の可能性

気象の変動が地震発生のトリガーになるという考察以外に、地震を発生させるトリガーになりうるものとして、地球潮汐の影響が考えられる。潮汐力により海面水位が変化したり、地殻へ加わる圧力も変化する。気象の気圧変動以外にもこの潮汐力が地震発生のトリガーになっている可能性は十分にある。

そこで、宮城県塩釜地区における地球潮汐の力(気象庁の天文潮位データ使用)と、東北地方で発生した地震発生数(Fig.8 でも使用した、発生頻度の成分)において相関係数を算出したところ、相関係数が-0.05 という非常に低い結果となった。

ゆえに、地球潮汐が地震の発生に及ぼす影響性は低いものと考えられる。

上記 3 つの解析より、三陸沖で発生した大地震の前にはいずれも急激な気圧下降があることが認められた。

これは北米プレートにおいて低気圧傾向が強くなったことを意味するだろう。

ここで、プレート間に働く力について考察してみると、Fig.13 が得られる。

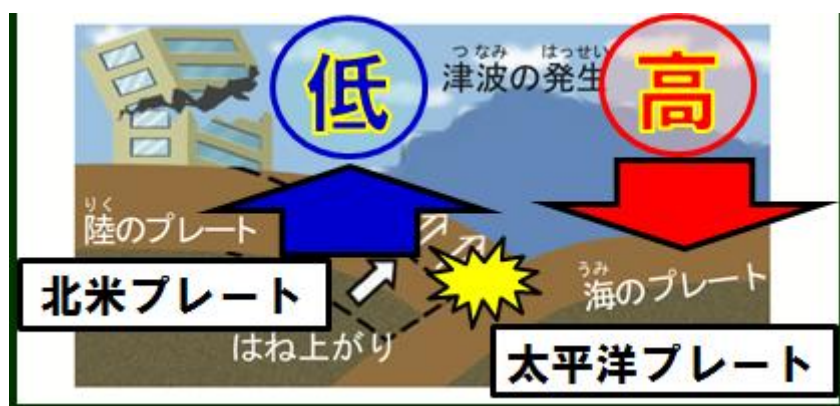


Fig.13 三陸沖におけるプレートへの力のかかり方

太平洋プレートでは高気圧によって鉛直下向きに力が加わり、北米プレートでは急激な気圧下降により、鉛直上向きの力が加わった。このシアーストレスが、プレートのはね上がりを促し、地震発生のトリガーになった可能性が示唆できる！！

4-2 大津波は気象に影響を与えうるのか？

4-2-1 大津波による海水の鉛直混合

宮城県江ノ島の、津波前後の SST 変動を調べたところ、Fig.14 が得られた。

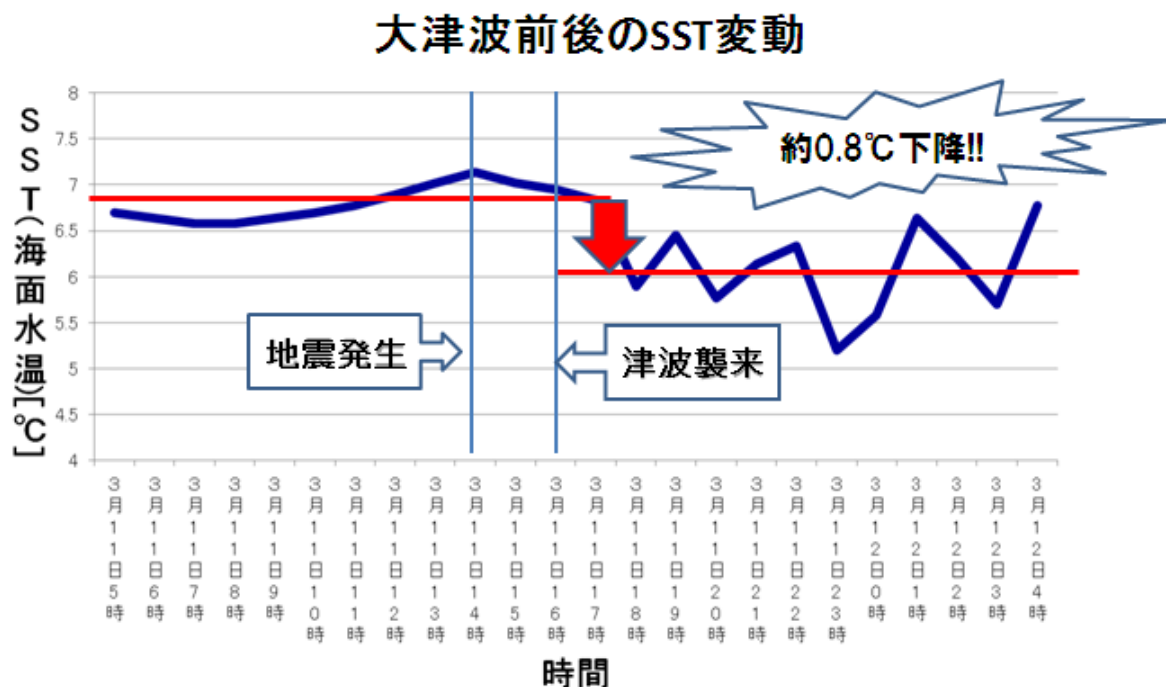


Fig.14 宮城県江ノ島における大津波前後(3月10日0時～3月12日24時)のSST変動

赤線は3月11日朝5時から17時の平均値と、3月11日17時から3月12日4時の平均値。

Fig.14 から、大津波後に SST が約 0.8°C 下降していることがわかった。よって、海水混合が起きたと推察される。

海面水温が下降した原因が、地震・津波による影響ではなく、気象条件などによる可能性もあるが、Fig.15 に示すように、宮城県江ノ島の 3 月 7 日～3 月 12 日の SST 変動は、津波襲来後に顕著に下降していることが読み取れる。

ゆえに、気象条件などの影響ではなく大津波による可能性が高い。

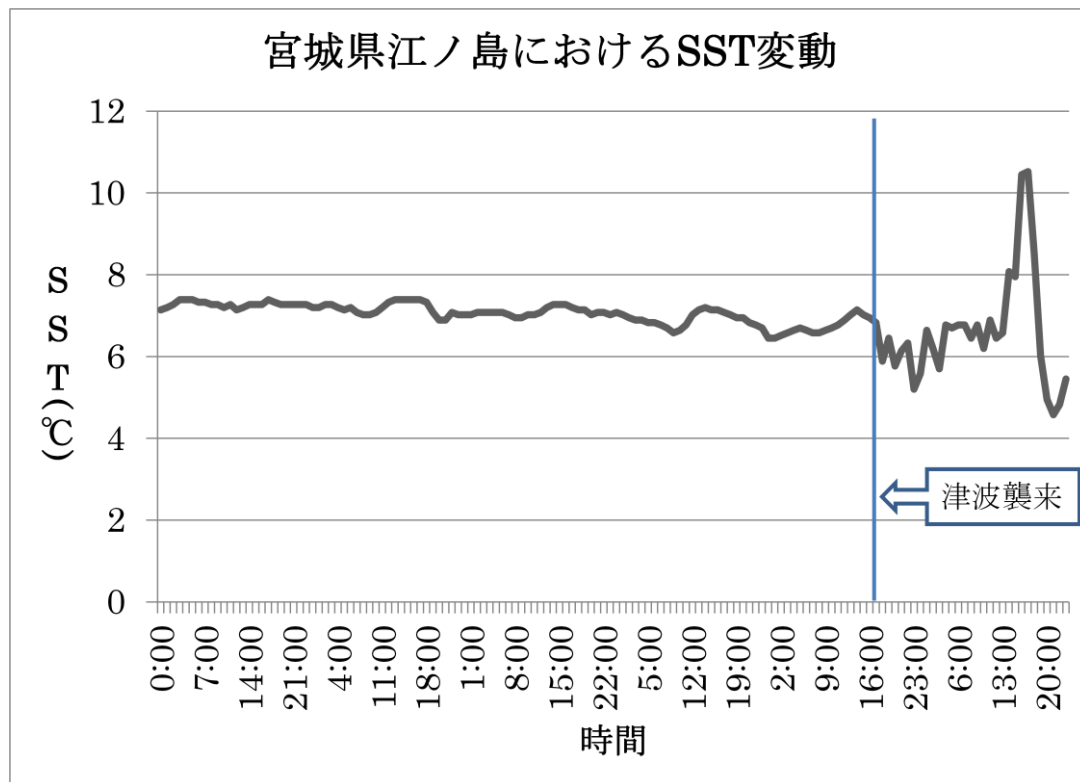


Fig.15 3月7日～3月12日の宮城県江ノ島における SST 変動

4-2-2 SST 変動による大気への影響

まずは、本震日と同様の気象条件の日を 10 日分ピックアップした結果から示す。

以下はそのピックアップした日と地震発生日 3 月 11 日の気象データ(気圧・気温・湿度・風向)との相関結果である。(Fig.16-1～Fig.16-10)

(1)1994 年 12 月 5 日

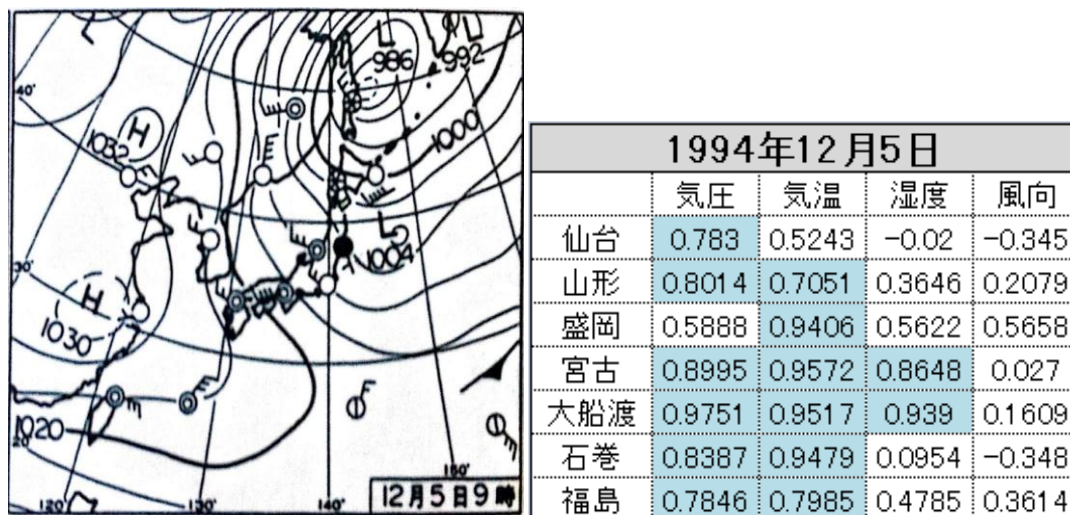


Fig.16-1(左図は 1994 年 12 月 5 日午前 9 時の気象天気図、右図は仙台・山形・盛岡・宮古・大船渡・石巻・福島における、気圧・気温・湿度・風向を、2011 年 3 月 11 と 1994 年 12 月 5 日において相関係数を求めたもの)

(2)1998 年 1 月 6 日

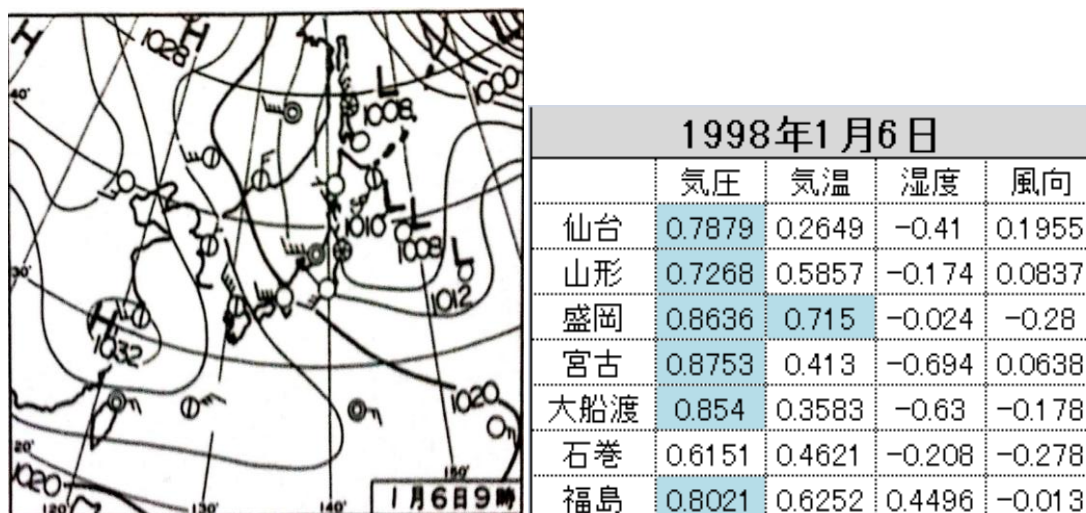


Fig.16-2(左図は 1998 年 1 月 6 日午前 9 時の気象天気図、右図は仙台・山形・盛岡・宮古・大船渡・石巻・福島における、気圧・気温・湿度・風向を、2011 年 3 月 11 と 1998 年 1 月 6 日において相関係数を求めたもの)

(3)2000 年 2 月 2 日

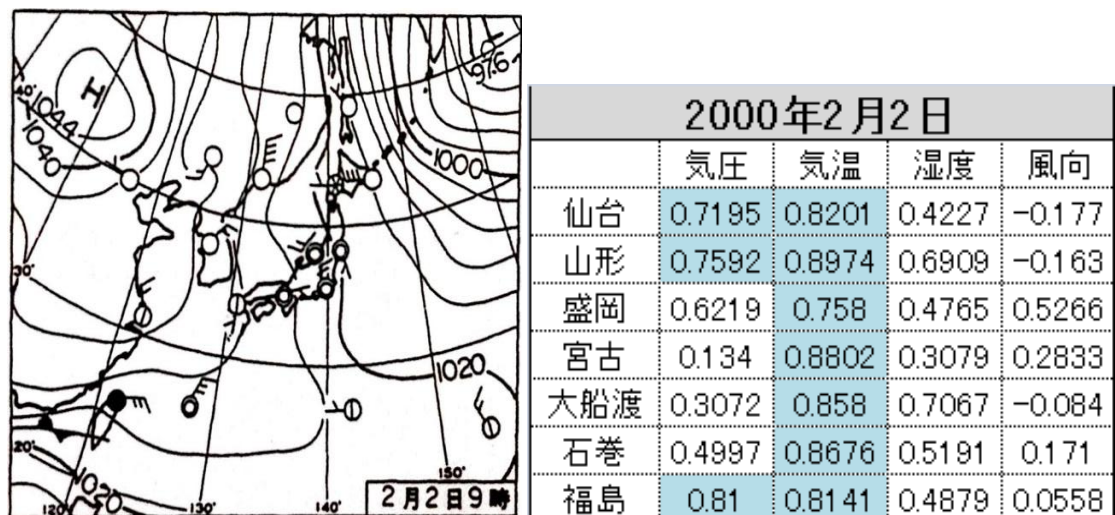


Fig.16-3(左図は 2000 年 2 月 2 日午前 9 時の気象天気図、右図は仙台・山形・盛岡・宮古・大船渡・石巻・福島における、気圧・気温・湿度・風向を、2011 年 3 月 11 と 2000 年 2 月 2 日において相関係数を求めたもの)

(4)2000 年 3 月 13 日

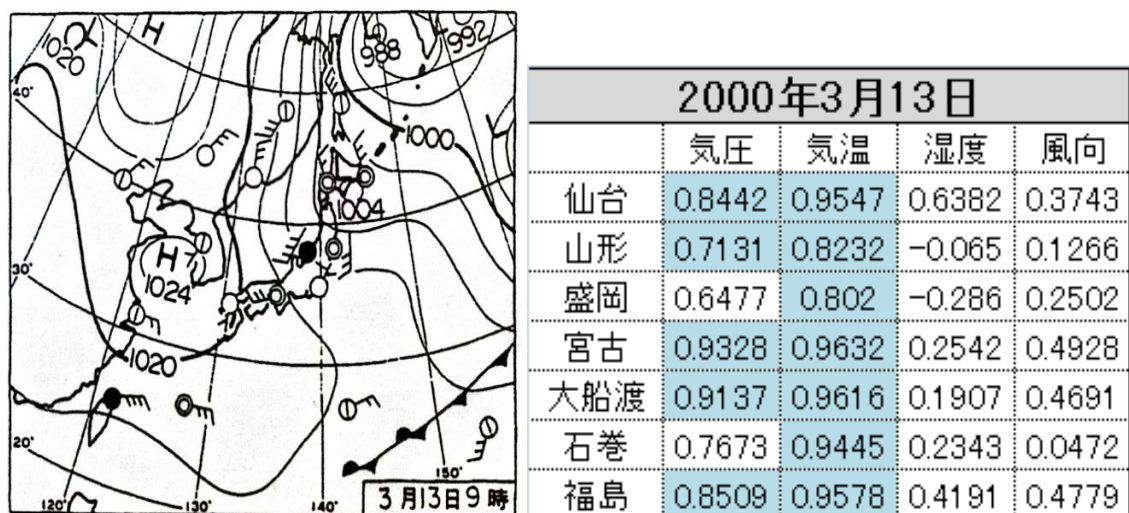


Fig.16-4(左図は 2000 年 3 月 13 日午前 9 時の気象天気図、右図は仙台・山形・盛岡・宮古・大船渡・石巻・福島における、気圧・気温・湿度・風向を、2011 年 3 月 11 と 2000 年 3 月 13 日において相関係数を求めたもの)

(5)2001 年 11 月 14 日

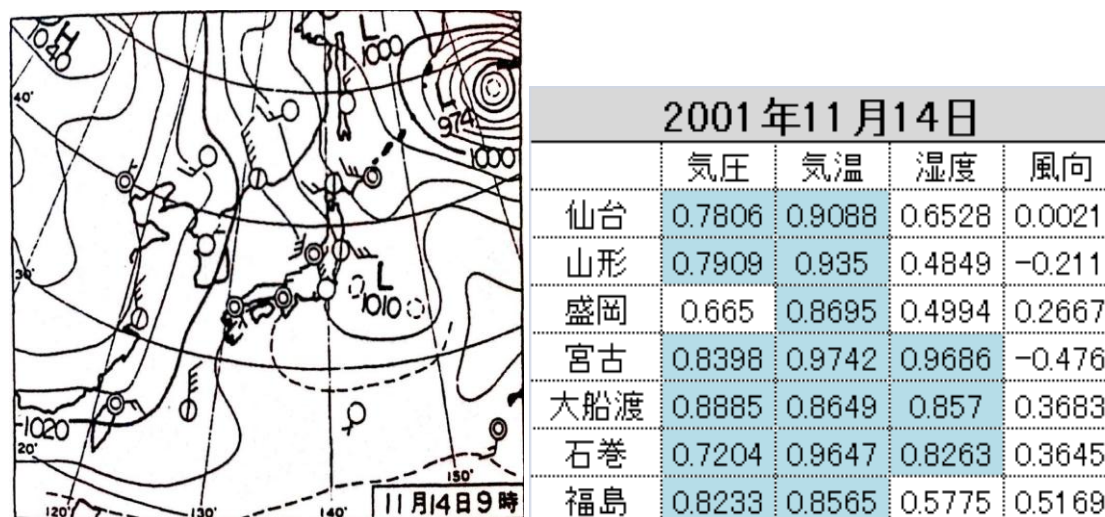


Fig.16-5(左図は 2001 年 11 月 14 日午前 9 時の気象天気図、右図は仙台・山形・盛岡・宮古・大船渡・石巻・福島における、気圧・気温・湿度・風向を、2011 年 3 月 11 と 2001 年 11 月 14 日において相関係数を求めたもの)

(6)2002 年 1 月 11 日

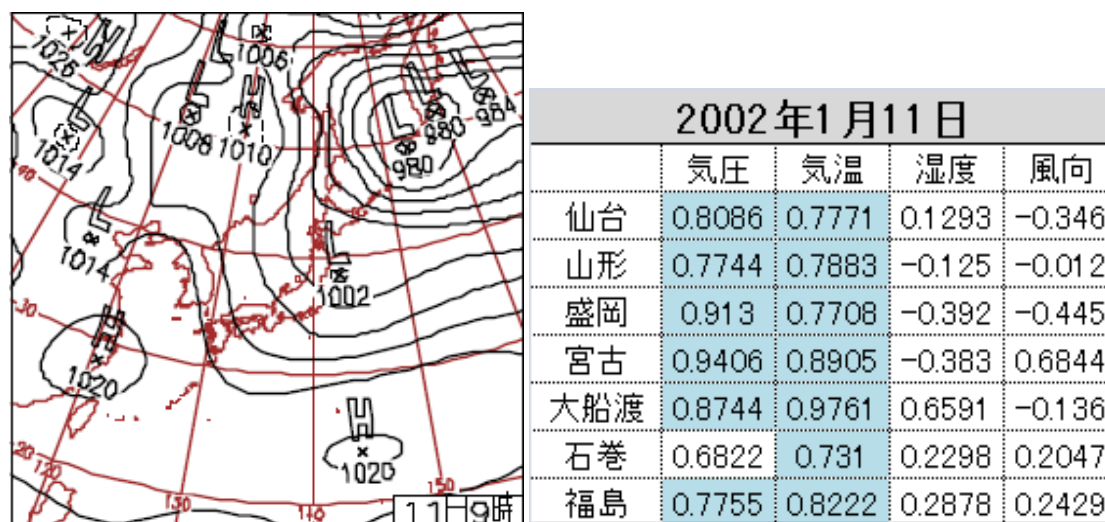


Fig.16-6(左図は 2002 年 1 月 11 日午前 9 時の気象天気図、右図は仙台・山形・盛岡・宮古・大船渡・石巻・福島における、気圧・気温・湿度・風向を、2011 年 3 月 11 と 2002 年 1 月 11 日において相関係数を求めたもの)

(7)2002 年 11 月 13 日

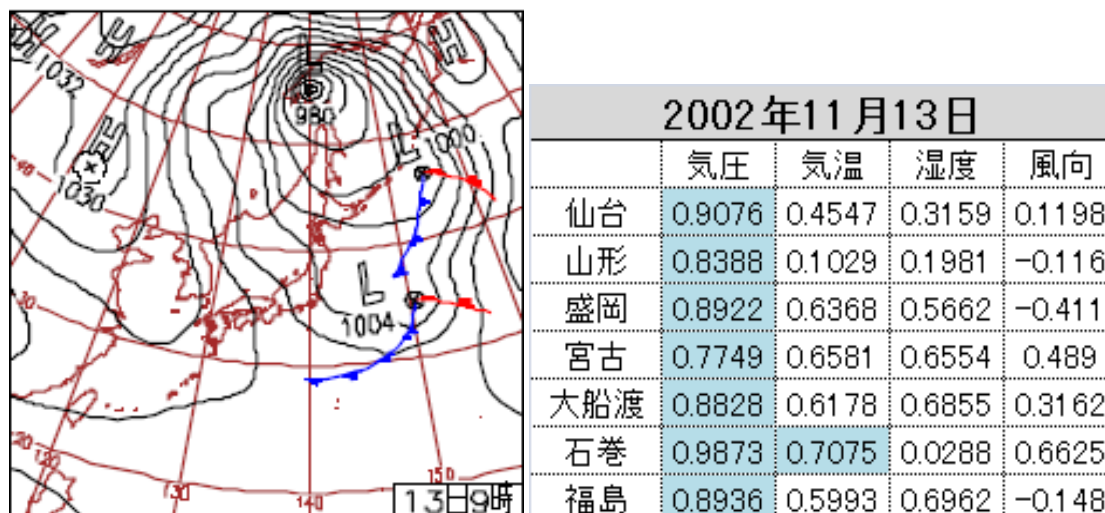


Fig.16-7(左図は 2002 年 11 月 13 日午前 9 時の気象天気図、右図は仙台・山形・盛岡・宮古・大船渡・石巻・福島における、気圧・気温・湿度・風向を、2011 年 3 月 11 と 2002 年 11 月 13 日において相関係数を求めたもの)

(8)2006 年 1 月 27 日

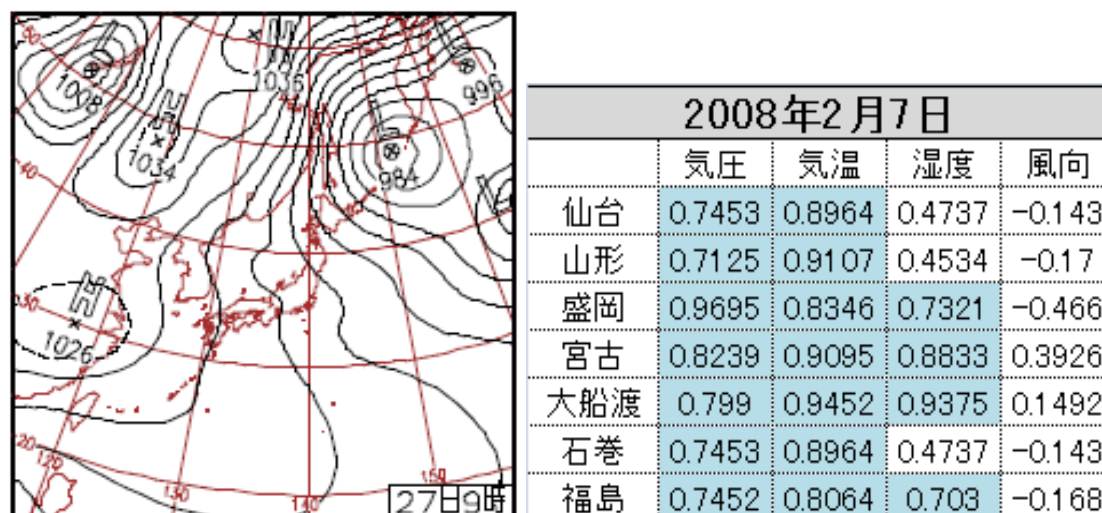


Fig.16-8(左図は 2006 年 1 月 27 日午前 9 時の気象天気図、右図は仙台・山形・盛岡・宮古・大船渡・石巻・福島における、気圧・気温・湿度・風向を、2011 年 3 月 11 と 2006 年 1 月 27 日において相関係数を求めたもの)

(9)2006 年 2 月 3 日

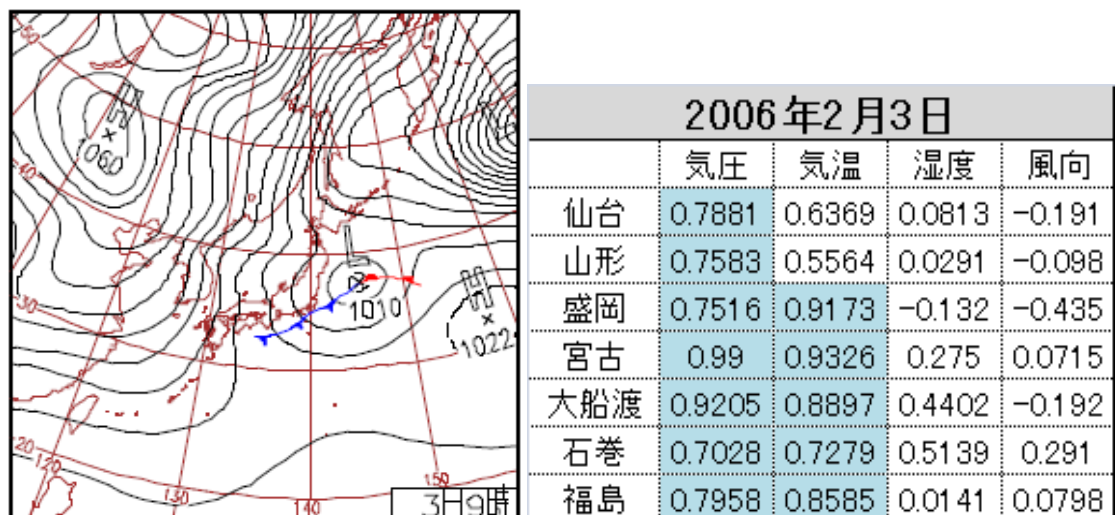


Fig.16-9(左図は 2006 年 2 月 3 日午前 9 時の気象天気図、右図は仙台・山形・盛岡・宮古・大船渡・石巻・福島における、気圧・気温・湿度・風向を、2011 年 3 月 11 と 2006 年 2 月 3 日において相関係数を求めたもの)

(10)2009 年 3 月 27 日

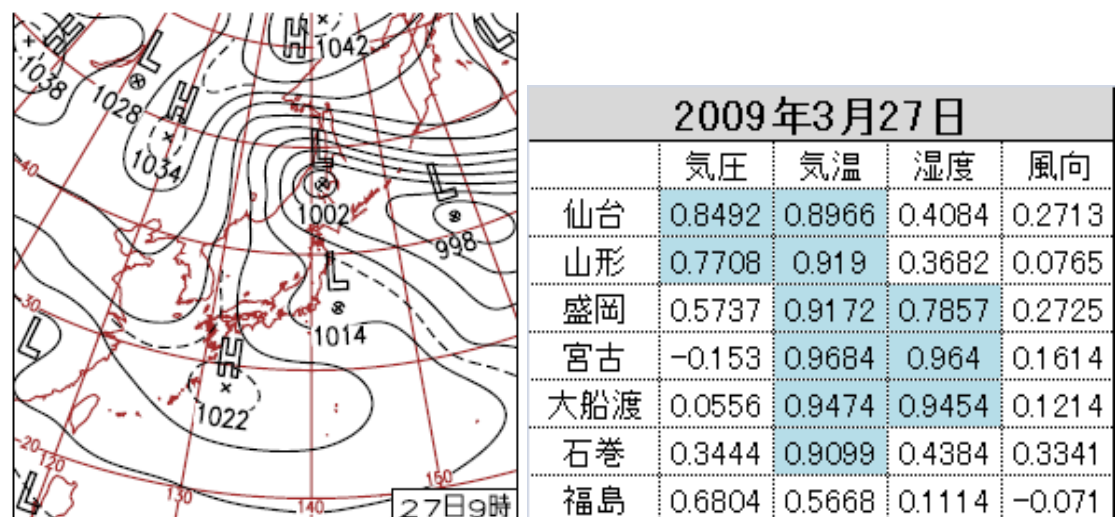


Fig.16-10(左図は 2009 年 3 月 27 日午前 9 時の気象天気図、右図は仙台・山形・盛岡・宮古・大船渡・石巻・福島における、気圧・気温・湿度・風向を、2011 年 3 月 11 と 2009 年 3 月 27 日において相関係数を求めたもの)

地震発生日 2011 年 3 月 11 日と、上記ピックアップしてきた 10 日間との気温偏差を比較した結果が下の Fig.17 である。

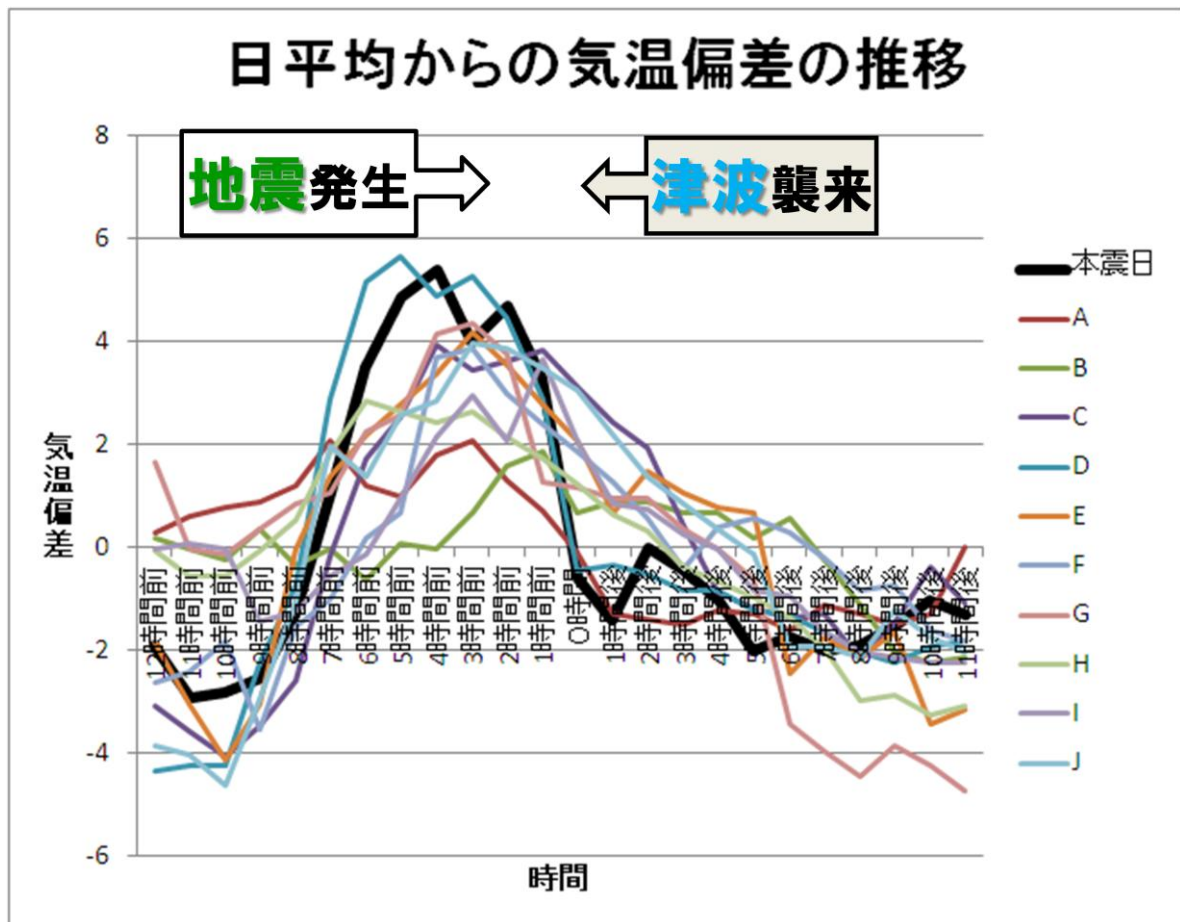


Fig.17 3 月 11 日における日平均からの気温偏差の推移

(A : 1994 年 12 月 6 日, B : 1998 年 1 月 6 日, C : 2000 年 3 月 13 日, D : 2000 年 3 月 13 日,
E : 2001 年 11 月 14 日, F : 2002 年 1 月 11 日, G : 2002 年 11 月 13 日, H : 2006 年 2 月 3 日,
I : 2006 年 2 月 3 日, J : 2009 年 3 月 27 日)

図の黒太線が地震発生日の気温偏差であるが、大津波襲来前までは、ピックアップした A~J と同じような変動をしているところが多いが、大津波襲来後は若干様相が異なる。これを定量的に判断するために両者の気温変動の相関係数を求めた。尚、日平均からの偏差として、基準を 11 日 16 時から ±12 時間の範囲で相関係数を求めている。

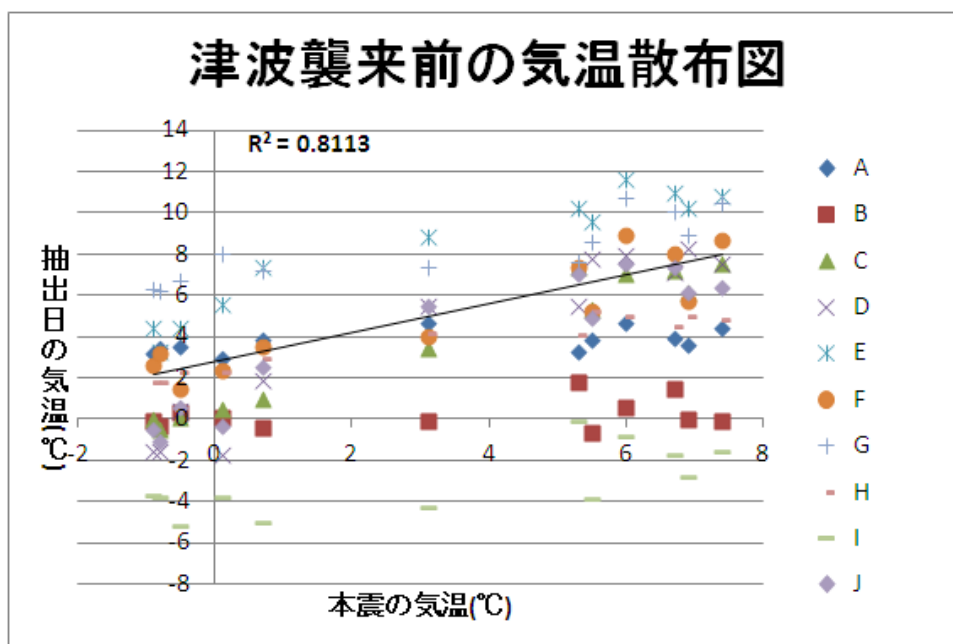


Fig.18-1 津波襲来前の気温変動の相関（横軸：本震日の気温、縦軸：抽出日の気温）

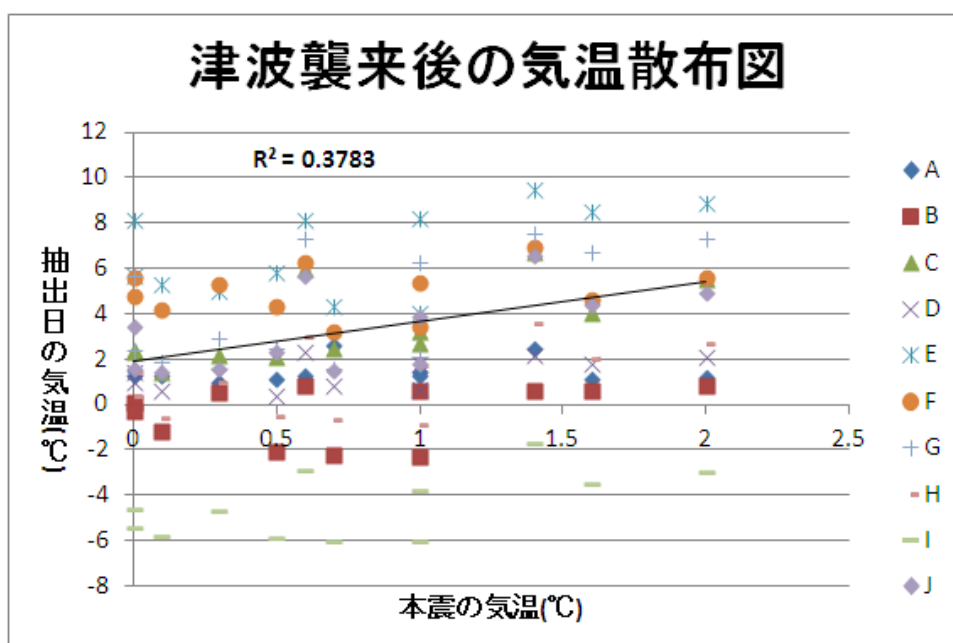


Fig.18-2 津波襲来後の気温変動の相関（横軸：本震日の気温、縦軸：抽出日の気温）

上記 Fig.18-1 と 18-2 は津波襲来前後における気温の散布図である。この散布図から、津波襲来前後の相関係数がそれぞれ求めたところ津波襲来前の状態で、地震発生日とピックアップした抽出日との気温変動の相関は、相関係数が 0.90 と非常に高かった。それに対して津波襲来後の地震発生日とピックアップした抽出日との気温変動の相関は 0.61 と、0.29 も下がった。

つまり、気圧変動の相関が高い日同士の気温変動を解析した結果、大津波襲来前は非常によく

似た気温変動をしていたのに対し、大津波襲来後は、一般的な気圧変動の影響ではなく、違う要因にて気温が変動した可能性が示唆される。

なお、気圧変動が似ている日同士の気温変動の相関をしてみるために、地震が発生した日とピックアップしてきた日、合わせて 11 日分の気温変動の相関係数の関係を一覧にまとめた。

Fig.19-1 と Fig.19-2 はその関係表であり、津波襲来前と津波襲来後で分けて示す。

仙台	本震	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
本震	1										
A	0.54	1									
B	0.35	-0.1	1								
C	0.98	0.51	0.5	1							
D	0.96	0.66	0.24	0.93	1						
E	0.96	0.62	0.39	0.96	0.95	1					
F	0.9	0.56	0.49	0.94	0.82	0.9	1				
G	0.86	0.58	0.28	0.83	0.79	0.85	0.86	1			
H	0.96	0.64	0.19	0.92	0.99	0.95	0.81	0.8	1		
I	0.71	0.23	0.71	0.81	0.57	0.7	0.88	0.65	0.56	1	
J	0.94	0.65	0.48	0.96	0.95	0.98	0.88	0.78	0.93	0.7	1

津波襲来前
4時～15時

Fig.19-1 津波襲来前の本震と抽出日の相関関係一覧

仙台	本震	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
本震	1										
A	0.12	1									
B	0.31	-0.2	1								
C	0.68	0.28	0.54	1							
D	0.56	0.07	0.89	0.83	1						
E	0.52	0.01	0.8	0.7	0.86	1					
F	0.19	0.01	0.85	0.67	0.83	0.82	1				
G	0.6	-0	0.83	0.79	0.94	0.96	0.81	1			
H	0.51	0.07	0.9	0.83	0.97	0.91	0.91	0.95	1		
I	0.6	0.14	0.84	0.87	0.96	0.9	0.87	0.94	0.98	1	
J	0.62	0.17	0.69	0.91	0.9	0.91	0.81	0.95	0.93	0.95	1

津波襲来後
16時～3時

Fig.19-2 津波襲来後の本震と抽出日の相関関係一覧

※Fig.19-1, Fig.19-2 の両者とも、色つきのマスは相関係数 0.7 以上の場所

Fig.19-1 と Fig.19-2 より、津波襲来前は抽出してきた日同士の相関はほとんどの所で相関係数 0.7 を超えており、それは津波襲来後でも同じ状況と言える。

以上より、地震があった 3 月 11 日のみが、気象条件が同じであるのにも関わらず、気温変動の様相が異なるので、海洋の鉛直混合による影響で気象が影響を受けた可能性が示唆される。

5 章 結論

本研究では、

①気象が地震を誘発するか？

②大津波は気象に影響を与えうるのか？

という大きく分けて2つの仮定・疑問に挑戦した。

① 気象が地震を誘発するか？という問題提起に対しては、Fig.9 で示したように、統計解析によって有意性が示された。余震が多い時ほど太平洋プレート西部が高気圧傾向にあった。

偶然余震が多い日に、太平洋で高気圧傾向にあるという可能性も考えられるが、これは有意水準が 0.01、相関係数 0.30 なので、統計解析としては偶然ではないと判断できる。

また、Fig.11、12 で示したように、三陸沖で発生する大地震発生前に気圧が急激に下降し低気圧傾向になった。

この急激な気圧下降についても偶然の可能性はあるが、東北地方太平洋沖地震と同じメカニズムで同じような発生場所の 1994 年におきた三陸はるか沖地震においても同様の結果が得られたため、これも偶然の可能性は非常に低いと考える。

この状況は海溝型地震のメカニズムを考えると、気象の変動が地震を誘発する物理的プロセスについて考察することができた。

故に気象が地震を誘発している可能性を示唆出来るものとする。

②大津波は気象に影響を与えうるのか？という問題提起に関しては、確かに大津波の前後では約 0.8℃下降した。

Fig.18-1, Fig.18-2 で示すように、大津波の前後で気温偏差の変動の相関関係に差があることが分かった。

このことにより、大津波が原因で気温の変動に影響が出たものと思われる。

詳細なメカニズムの解明には至らなかったものの、大津波が大気になんらかの影響を与えていることが分かっただけでも大きな成果であるとする。

今後の展望として、データの章でも記したように、本研究において最も必要とされる大津波後の沿岸域のデータのほとんどが停電や津波の影響でデータを得ることができなかった。AMeDASなどの災害時におけるデータの取得・保存方法について再度検討する余地がある。

この研究を通して、気象学と地震学には、まだまだ未知なる可能性があると期待し、気象地震学という新たな学問分野を開拓出来たと思われる。近い将来、この気象地震学の発展が、地震学の発展に貢献出来る日を楽しみにしている。

謝辞

本研究を始めるにあたって、宮城県江ノ島の SST データを提供していただいた東北区水産研究所の伊藤進一氏に感謝の意を表します。

研究を進めるにあたっては、立花義裕教授には気象に関する専門的知識だけではなく、解析手法、発表の仕方、研究の進め方や考え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。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の先生方には、合同ゼミ等で貴重なアドバイスを多数いただき、大気・海洋・統計学等の専門的な授業や、基本となる物理の授業で様々な知識・考え方をたくさん学ばせていただきました。心より感謝いたします。自然環境システム学講座の先輩方、特に研究室の先輩方には、研究の相談や解析手法、プログラミングや気象物理の Holton ゼミ等で大変お世話になりました。心より厚く御礼申し上げます。また、気象学会や研究会等で貴重なご意見やご指導いただきました。各大学、各機関の方々にもこの場を借りて御礼申し上げます。最後に、辛い時も楽しい時も、助け合い、高め合って励ましあってきた4年生をはじめとする学生の皆様、いつも相談に乗ってくれた仲間たち、そしていつも心配して支えてくれた家族と大切な人に心より感謝いたします。

参考・引用文献

)山口生知(1934)「Relation between Cyclone and Earthquake」『東京帝国大学地震研究所彙報』
Vol.12-4(1934)pp.742-753