# 令和3年度 卒業論文

# 災害級の冷夏が

# 近年発生していない理由とは?

# Why haven't "disaster-level cool summers" been occurring in recent years?

三重大学 生物資源学部 共生環境学科

地球環境学教育コース

気象・気候ダイナミクス研究室

518375 天野 未空 指導教員:立花 義裕 教授

# 目次

第1章	序論	. 1
第2章	使用データ	. 4
2-1	気象庁 55 年長期再解析データ(JRA-55)	. 4
2-2	HadISST(海面水温データ)	. 4
2-3	気象庁による地上観測データ	. 4
第3章	解析手法	. 5
3-1	近年と冷夏年の定義	. 5
3-2	合成図解析	. 6
3-3	各種インデックスの作成	. 6
第4章	解析結果	. 7
4-1	近年と冷夏年の抽出	. 7
4-2	近年の合成図解析	. 7
4-3	冷夏年の合成図解析	. 9
4-4	近年における冷夏年の特徴の有無と考察	12
第5章	結論	22
謝辞	······	23
参考引	用文献	24
付録		25

# 第1章 序論

"冷夏"とは、通常の夏と比べ、低温・日照不足となる夏のことを指し、日本の中でも主要な稲作地域 である北日本は、度々発生する冷夏によって農作物の収量不足・品質低下などの被害を受けてきた. 例え ば、1993年に発生した大冷夏では、当時のコメの需要に対し収穫量が大幅に不足し、海外から緊急輸入 する事態に陥った(Fig.1).この時,耐冷性品種への転換など、冷害対策が取られたものの,2003年に再 び冷夏が発生した際、その被害を完全に防ぐことは出来なかった.このような"災害級の冷夏"が発生す る一因として,オホーツク海高気圧の存在が知られている(Ninomiya and Mizuno, 1985).6月から7月に かけてオホーツク海上に発生するこの高気圧は、冷涼湿潤な性質を持ち、太平洋高気圧との間に梅雨前 線を形成する(Fig.2).通常は,夏が本格化していくにつれ衰退していき,梅雨明けとなる.反対に,夏 季に衰退せず,発達・停滞した場合に北日本を中心に低温・日照不足となる.また,太平洋側ではやませ のような偏東風が吹く.この他、日本の夏に影響を及ぼす気圧配置パターンとして、太平洋-日本 (Pacific-Japan, PJ) パターンがある (Nitta, 1987). 前冬にエルニーニョ現象が発生すると, 北太平洋西部熱帯域 の海面水温が低下し,夏季のフィリピン海~南シナ海の対流活動が不活発となる(Fig.3).この影響が大 気上層を介して日本付近まで及び、太平洋高気圧の張り出しが弱くなるために、日本は冷夏となる(Xie et al., 2009, Kubota et al., 2016). このような事実が先の研究により知られている一方で,近年は"災害級 の冷夏"は発生していないという事実もある(Fig.4). 温暖化の影響であるという見解があるものの, そ の理由を統計的に調べ、具体的な考察を行った先行研究は存在しない、

そこで本研究では、災害級の冷夏が近年発生していない理由解明を目的とし、近年の大気海洋場の変化 を探り、この理由について考察を行った.低温に弱いイネの生育ステージを踏まえ(付録1参照)、7月 の気温に着目し解析を行った.また、先行研究を踏まえ、近年のオホーツク海高気圧の発達および、負の PJ パターンの発生に着目し、近年と過去の冷夏事例との大気海洋場の比較、およびそれらの特徴を表す インデックスの時系列変化より考察を行った.本研究での成果は、今後の冷夏発生に関する議論の一助 となるほか、水稲冷害予測や夏季気温予測の精度向上につながることが期待できる.

1



Fig.1 1993 年 9 月 30 日夕刊. 朝日新聞社より引用.



**Fig.2** 2003 年 7 月 7 日 9 時の地上天気図. 気象庁 HP より引用.



**Fig. 4** 日本の夏(6~8月)平均気温偏差の経年変化(1898~2021年) 細線(黒):各年の平均気温の基準値からの偏差,太線(青):偏差の5年移動平均値, 直線(赤):長期変化傾向.基準値は1991~2020年の30年平均値.気象庁 HPより引用.

# 第2章 使用データ

### 2-1 気象庁 55 年長期再解析データ(JRA-55)

大気場のデータには、気象庁 55 年長期再解析データ(JRA-55)(Kobayashi et al., 2015)を用いた.水平 解像度は 1.25 度(経度)×1.25 度(緯度),鉛直層は 37 層である.本データは、1958 年から 2020 年まで の 63 年分の 7 月の月平均データを使用している.使用した変数は、ジオポテンシャル高度(m)、南北風 (m/s)、東西風(m/s)である.

#### 2-2 HadISST(海面水温データ)

海面水温(Sea Surface Temperature, 以下 SST)のデータには、イギリス気象庁(UKMO)の Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature data set(HadISST)(Rayner et al., 2003)を用いた. 解像度は1 度(経度)×1度(緯度)である.本データは、2-1節と同様、1958年から2020年までの63年分の7 月の月平均データを使用している.

## 2-3 気象庁による地上観測データ

冷夏年の指標として、7月の月平均気温データを使用した.日本の中でも主要な稲作地域である、北海道と青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島、新潟の一道七県を選択し、各道県の気象官署の中で、現 在まで欠損なく観測している 40 点を対象地点とした.本データは、2-1 節と同様、1958 年から 2020 年 までの 63 年分の 7月の月平均データを使用している.

# 第3章 解析手法

## 3-1 近年と冷夏年の定義

過去"災害級の被害をもたらした冷夏年(以下,冷夏年)"と,冷夏が発生していない"近年"とを定 義するために,北日本気温インデックスを作成した.まず,対象地点における観測データを地点ごとに標 準化を行い,地点ごとの気温インデックスを作成した.次に,地点ごとの気温インデックスを足し合わ せ,再度標準化を行い,北日本気温インデックス(Fig.5)を作成した.このインデックスの値が-0.5 σ 以下である年を"冷夏年",最後の冷夏年の翌年以降~2020年までを"近年"と定義した.



Fig. 5 北日本気温インアックス(1958-2020年 縦軸:σ,横軸:年

### 3-2 合成図解析

3-1節で定義した近年および冷夏年における,平均的な大気海洋場の特徴を確認するため,近年・冷夏年それぞれの合成図解析を行った.その後,気候値との差の有意性を,母平均の検定を用いて確かめた.検定統計量の計算式は,(1)の通りである.

t=検定統計量

$$\boldsymbol{t} = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{N}} \tag{1}$$

 $ar{X}$ :標本平均 ,  $\mu_0$ :母平均 , S:標本分散 , N:標本数

## 3-3 各種インデックスの作成

3-2節の合成図解析の結果確認された,近年・冷夏年の特徴を表すインデックスを作成し,時系列変化から,近年冷夏が発生していない理由の考察を行った.インデックスの詳細については,4-4-1節で説明する.また,近年とそれ以前とのインデックスの値の差の有意性を,母平均の差の検定を用いて確かめた.検定統計量の計算式は,(2)の通りである.

t=検定統計量

$$\boldsymbol{t} = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(N_1 - 1)S_X^2 + (N_2 - 1)S_Y^2}{N_1 + N_2 - 2}}} \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}$$
(2)

 $\bar{X} \bar{Y}$ :標本平均 ,  $S_X S_Y$ :標本分散 ,  $N_1 N_2$ :標本数

# 第4章 解析結果

# 4-1 近年と冷夏年の抽出

北日本気温インデックス (Fig. 5) より, "冷夏年"として, 計15 事例 (1964年, 1965年, 1966年, 1974年, 1979年, 1980年, 1982年, 1983年, 1986年, 1988年, 2003年, 2005年, 2007年, 2009年) が抽出された.また, 冷夏が2010年以降発生していないことから, 2010~2020年の11年間を"近年"とした.

### 4-2 近年の合成図解析

4-1 節より抽出された,近年の大気海洋場の特徴を調べるために行った合成図解析の結果,次のような ことが確認された.

まず,SST については (Fig. 6),日本周辺や北太平洋東部,西部熱帯域で有意な高水温偏差となっていた.オホーツク海に有意な水温偏差は見られなかった.次に,975hPa 面のジオポテンシャル高度においては (Fig. 7),日本周辺および,北太平洋東部に有意な高気圧偏差が見られた.オホーツク海高気圧の発達,負の PJ パターンのような特徴は見られなかった.250hPa 面のジオポテンシャル高度においては (Fig. 8),カムチャツカ半島~北太平洋東部を中心に,日本を含む極東アジア~北太平洋東部にかけて,有意な高気圧偏差が見られた.



**Fig.6** 近年における SST の合成図 線:気候値(℃),色:気候値からの偏差(℃),網掛け:信頼係数 95%以上



**Fig.7** 近年における 975hPa 面ジオポテンシャル高度の合成図 線:気候値(m),色:気候値からの偏差(m),網掛け:信頼係数 90%以上



ベクトル:東西風の気候値からの偏差が信頼係数90%以上で有意であった風(m/s)

#### 4-3 冷夏年の合成図解析

4-2節で確認された近年の特徴が、冷夏年における特徴と同様であるか否かを調べるために、冷夏年についても合成図解析を行った.結果は次の通りである.

まず,SST については(Fig. 9)日本周辺〜北太平洋中央部にかけて低水温偏差となっており,熱帯域 に目立った特徴は見られなかった.次に,975hPa 面のジオポテンシャル高度においては(Fig. 10),南シ ナ海〜フィリピン海付近は有意に高気圧偏差,日本周辺〜北太平洋中央部にかけては有意に低気圧偏差 となっており,負のPJパターンと同様の気圧偏差が見られた.加えて,樺太付近にオホーツク海高気圧 と見られる高気圧偏差も見られた.大気下層場において見られたこれらの特徴は,第1章で述べた先行 研究とも整合的である.250hPa 面のジオポテンシャル高度においては(Fig. 11),日本を含む極東アジア 〜北太平洋東部にかけて,有意な低気圧偏差,その南側で高気圧偏差となっており,南北のダイポール構 造が特徴として見られた.

以上より, 4-2 節で確認された近年の平均的な大気海洋場の特徴は, 冷夏年の大気海洋場の特徴とは異なっているという結果が得られた.



**Fig. 9** 冷夏年における SST の合成図 線:気候値(℃),色:気候値からの偏差(℃),網掛け:信頼係数 95%以上



**Fig. 10** 冷夏年における 975hPa 面ジオポテンシャル高度の合成図 線:気候値(m),色:気候値からの偏差(m),網掛け:信頼係数 90%以上



**Fig. 11** 冷夏年における 250hPa 面ジオポテンシャル高度の合成図 線:気候値(m),色:気候値からの偏差(m),網掛け:信頼係数 90%以上 ベクトル:東西風の気候値からの偏差が信頼係数 90%以上で有意であった風(m/s)

#### 4-4 近年における冷夏年の特徴の有無と考察

#### 4-4-1 冷夏年の特徴を表すインデックス

4-2, 4-3 節より, 近年の平均的な大気海洋場の特徴は, 冷夏年のそれとは異なっていることが確認された. 次に, 近年はどの年も, 冷夏年の特徴が現れていないのかを調べるために, 4-3 節での結果を踏まえた, 5 種類のインデックスを作成した. インデックスの詳細は次の通りである.

(1) 北日本太平洋側の海面水温(Japan Sea Surface Temperature,以下 JPsst) インデックス
 北緯 39.5 度~45.5 度,東経 145.5 度~150.5 度の領域平均の SST (Fig. 12, Fig. 13).

(2) オホーツク海高気圧 (Okhotsk high, 以下 OH Z975) インデックス

北緯 47.5 度~50 度, 東経 140 度~146.25 度の領域平均の 975hPa 面のジオポテンシャル高度.オホーツク海高気圧の発達の有無を表すインデックスとなっている (Fig. 14, Fig. 15).

#### (3) 日本付近の大気下層の高度場(Japan,以下 JP Z975) インデックス

北緯 33.75 度~38.75 度, 36.25 度~40 度, 東経 136.25 度~153.75 度, 153.75 度~160 度の領域平 均の 975hPa 面のジオポテンシャル高度 (Fig. 14, Fig. 16). 日本付近の大気下層の高度場が, 高気圧 偏差であるか, 低気圧偏差であるかを表すインデックスとなっている. また, 負の PJ パターンの発 生を確認するために用いた.

(4) 北太平洋西部の大気下層の高度場(Pacific,以下 PC Z975) インデックス

北緯 20 度~26.25 度, 東経 120 度~133.75 度の領域平均の 975hPa 面のジオポテンシャル高度 (Fig. 14, Fig. 17). 北太平洋西部 (フィリピン海付近)の大気下層の高度場が,高気圧偏差であるか,低気圧偏差であるかを表すインデックスとなっている.また, 負の PJ パターンの発生を確認するために用いた.

### (5) 日本付近の大気上層の高度場(Japan,以下 JP\_Z250) インデックス

北緯 33.75 度~38.75 度, 36.25 度~40 度, 東経 136.25 度~153.75 度, 153.75 度~160 度の領域平 均の 250hPa 面のジオポテンシャル高度(Fig. 18, Fig. 19). 日本付近の大気上層の高度場が, 高気圧 偏差であるか, 低気圧偏差であるかを表すインデックスとなっている.

12





クス(青枠), JP\_Z975 インデックス(緑枠), PC\_Z975 インデックス(紫枠)作成領域. 色:気候値からの偏差(℃), 網掛け:信頼係数 90%以上





縦軸:σ,横軸:年,青線:絶対値 0.25σ





**Fig. 18** 冷夏年における 250hPa 面ジオポテンシャル高度の合成図と JP\_Z250 インデックス 作成領域(赤枠). 色:気候値からの偏差(℃),網掛け:信頼係数 90%以上



#### 4-4-2 近年における冷夏年の特徴の有無

近年において,冷夏年の特徴が現れているかを 4-4-1 節の 5 種類のインデックスを用い,1年ずつ 確認を行ったところ,次のような結果が得られた.

まず,SST については,JPsst インデックスより (Fig. 13),2015 年を除く全ての年で高水温偏差で あった. 冷夏年の特徴が近年はほとんど現れていないことが確認された.

次に、OH\_Z975 インデックスより (Fig. 15), 近年もオホーツク海高気圧は発達しており, 冷夏年 の特徴が現れていることが確認された. それにも関わらず, 近年冷夏が発生していない理由として, 日本付近の SST が高水温偏差となっている影響が考えられる. 近年は, やませのような風が吹いた としても, 以前までのような冷たいやませではなく, 海によって温められた相対的に "暖かいやま せ"となっている可能性がある.

また, PJ パターンについての確認を行った. JP\_Z975 インデックス (Fig. 16), PC\_Z975 インデッ クス (Fig. 17) 共に, インデックスの絶対値が 0.25 σ 以上である場合に, 高気圧偏差, 低気圧偏差で あると見なし, JP\_Z975 インデックスの符号が負 (または正), PC\_Z975 インデックスの値が正 (ま たは負) である場合に, 負 (正) の PJ パターンが発生しているとした. いずれにも当てはまらない 場合は, PJ パターンが発生していないと見なした. これらを踏まえ, 負の PJ パターン発生の有無を 確認したところ, 2010 年以降は 1 度も発生していなかった. また同時に, 正の PJ パターンに転じて いるわけではない (正の PJ パターンも近年はほとんど発生していない) ことが確認された.

ここまでの結果を Table.1 にまとめて示す.また,日本付近の大気上層の高度場についても確認を 行ったところ(Fig. 19),近年は高気圧偏差である年が頻発していた.

年	北日本太平洋側の 海面水温	オホーツク海 高気圧	PJパターン
2010	高水温偏差	高気圧偏差	×
2011	高水温偏差	高気圧偏差	×
2012	高水温偏差	高気圧偏差	×
2013	高水温偏差	高気圧偏差	×
2014	高水温偏差	低気圧偏差	×
2015	低水温偏差	低気圧偏差	正
2016	高水温偏差	高気圧偏差	×
2017	高水温偏差	低気圧偏差	×
2018	高水温偏差	高気圧偏差	正
2019	高水温偏差	高気圧偏差	×
2020	高水温偏差	高気圧偏差	×

Table.1 近年の大気海洋場の特徴まとめ

冷夏年の特徴が見られていない場合に、オレンジ色で塗りつぶしている. PJパターンについては、正でも負でも無い場合に「×」印を付けている.

#### 4-4-3 近年の日本付近の変化

負の PJ パターンが発生していない理由が、日本付近の高度場が近年変化している影響であると考 え、4-2 節での結果を踏まえ、新たに日本付近の大気下層の高度場(JP\_Z975\*)インデックスを作成 した. 975hPa 面のジオポテンシャル高度における、北緯 28.75 度~40 度、東経 136.25 度~145 度に 領域を設定した(Fig. 20, Fig. 21).

JP\_Z975\*インデックスの時系列変化より(Fig. 21),2009年以前は、日本付近が高気圧偏差、低気圧偏 差である年が同程度出現しているのに対し、近年は高気圧偏差である年が頻発していることが確認でき る.また、近年の平均値0.64と、1958~2009年間の平均値-0.14との間には、有意な差が見られた(信頼 係数95%で有意).Fig. 8、Fig. 19での結果も踏まえると、近年日本付近は、大気上層から下層にかけて 高気圧化傾向であると言える.これにより、日本付近とフィリピン海付近における、南北の気圧傾度が小 さくなり、偏西風が強まりにくい大気場となっていると考えられる.またこのために、フィリピン海付近 の影響が上層を介して日本付近に及びにくくなっており、負のPJパターンが発生していない可能性が考 えられる.加えて、大気上層の高・低気圧偏差は、偏西風の蛇行と関係していることから、これらの結果 は、近年偏西風の蛇行パターンが変化している可能性を示唆していると考えられる.



**Fig. 20** 近年における 975hPa 面ジオポテンシャル高度の合成図と JP\_Z975\*インデックス作成領域(緑枠). 色:気候値からの偏差(℃),網掛け:信頼係数 90%以上



# 第5章 結論

本研究では、"災害級の冷夏"が近年発生していない理由解明を目的とし、解析を行った.解析結果より、次の2点がこの理由として考えられる.

- 1. 日本周辺の海面水温の上昇. このためオホーツク海高気圧が発達し, やませのような北東風が吹いた としても, 海によって温められた, 相対的に "暖かいやませ"となっている可能性がある.
- 日本周辺の大気下層〜上層の高気圧化.このために、日本付近の偏西風が強まりにくい大気場となっているために、熱帯海洋変動の影響を受けにくくなっている可能性がある.フィリピン海付近が高気 圧偏差であっても、その影響が上層を介して日本付近まで及ばないために、負のPJパターンが発生 しないのではないかと推測される.

また,大気上層の高・低気圧偏差は,大気大循環,偏西風の蛇行パターンと関係があることから,2は, 近年北半球の大気大循環が変化している,または特定の蛇行パターンが発生しやすくなっている可能性 を示唆している.

しかし、本研究にはいくつかの課題が残されている.現時点では1の理由により、近年本当に"暖かい やませ"となっているのかまでは確認できていない.近年の北日本太平洋側の気温や風、下層雲等につい て、より詳細に調べ考察を行う必要がある.また、海面水温の上昇、大気下層〜上層の高気圧化、大気大 循環の変化が、自然変動と温暖化の影響のどちらであるかについては、影響を切り分けた解析を行う必 要があるため、現時点では議論できない.自然変動であった場合は、将来も"災害級の冷夏"が発生する 可能性が高くなるため、今後引き続き解析を行い、検討を行う必要がある.

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、立花義裕教授には、テーマ設定から、研究手法、方針、論理の構成等につい て熱心にご指導いただきました. ゼミにおいては気象力学や気候システムの基礎について懇切丁寧に指 導していただき、理解を深めることができました. また、新型コロナウイルスによる未曾有の災禍の中で はありましたが、オンライン及び可能な場合は対面での研究集会等への参加、気象学・気候学を研究する 外部の研究者の方との交流、オホーツク海での流氷観測といった、研究のモチベーションを高める働き かけを常にしていただきました. 他分野からこの自然科学分野に飛び込んできた私に、基礎的な知識か ら研究に対する姿勢に至るまで、温かくご指導いただいたことに深く感謝申し上げます. そして、地球環 境学教育コースの先生方には、地球環境に関わる幅広い知識を学ばせていただきました. 講義等におい て熱心にご指導いただいたこと、また、卒業論文中間発表、卒業論文審査会の際には、多くのご指摘・ご 助言を頂きましたことにも大変感謝しております.

また,新潟大学の安藤雄太特任助教には,論理展開や研究方針等についてご指導いただきました.研究 に関する悩みにも耳を傾けていただき,励ましやご助言をいただきましたことにも感謝申し上げます.

気象・気候ダイナミクス研究室の先輩方にも多大なるご協力を賜りました.春日悟研究員には,気象物 理に関する知識や研究発表,結果の解釈について的確なご指摘をいただきました.加藤茜氏,中村祐貴 氏,竹端光希氏,松田佳奈氏,山中晴名氏には,プログラムの組み方や文章の書き方,スライドの作り方 について,多くのご助言をいただきました.その他,4年生,3年生の学生の皆さまには,何度も発表練 習や議論に付き合っていただきました.また,この研究室に身を置き,皆様から日々多くの刺激やアドバ イス,励ましの言葉をいただいたおかげで,テーマに対する自身の思いを大切に育みながら,研究を押し 進めることが出来ました.この場を借りて上記全ての皆さまに重ねて深謝申し上げます.

23

# 参考引用文献

- Ninomiya, K. and H. Mizuno, 1985: Anomalous Cold Spell in Summer over Northeastern Japan Caused by Northeasterly Wind from Polar Maritime Airmass, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 65, 845-857, doi:10.2151/jmsj1965.63.5\_845
- Nitta, T., 1987: Convective Activities in the Tropical Western Pacific and Their Impact on the Northern Hemisphere Summer Circulation, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 65, 373-390, doi:10.2151/jmsj1965.65.3 373
- Xie, S. P., K. Hu, J. Hafner, H. Tokinaga, Y. Du, G. Huang, and T. Sampe, 2009: Indian Ocean Capacitor Effect on Indo-Western Pacific Climate during the Summer following El Niño, *Journal of Climate*, 22, 730-747, doi:<u>10.1175/2008JCLI2544.1</u>
- Kubota, H., Y. Kosaka, and S. P. Xie, 2016: A 117-year long index of the Pacific-Japan pattern with application to interdecadal variability, *International Journal of Climatology*, 36, 1575-1589, doi:10.1002/joc.4441
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 93, 5-48, doi: <u>10.2151/jmsj.2015-001</u>
- Rayner, N. A., D. E. Parker, E. B. Horton, C. K. Folland, L. V. Alexander, D. P. Rowell, E. C. Kent, A. Kaplan, 2003: Global Analyses of Sea Surface Temperature, Sea Ice, and Night Marine Air Temperature since the Late Nineteenth Century, *Journal of Geophysical Research*, 108, 4407, doi: 10.1029/2002JD002670
- 楠昌司(2005)『2003年日本の冷夏』気象研究ノート 210号 日本気象学会
- 「作物の気象災害」鮫島良次(2021)『農業気象学入門』文永堂出版株式会社
- 気象庁 過去の天気図(2003年7月7日9時の天気図)
   <a href="https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html">https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html</a>
- 朝日新聞社 聞蔵Ⅱビジュアル 1993 年(平成5年)9月30日 夕刊記事

付録

付録1 水稲の生育ステージ

水稲の生育ステージと主な農作業を示す (Fig. 1.1). 水稲の生育ステージは、栄養成長期、生殖成長期、 登熟期の、3つのステージに大別できる.この中で特に、低温に弱い稲の生育ステージが生殖成長期(減 数分裂期を中心とした穂ばらみ期)である.東北地域では、7月中旬頃からこのステージを迎える.この 時期に低温を受けると、その後に気温が上昇しても回復することができない決定的な障害を受けること になる.



**Fig. 1.1** 水稲の生育ステージと主な農作業. 農林水産省「水稲栽培のポイント」資料より引用,加筆.

付録2 近年の水稲収量の変化

農林水産省が公開している作物統計調査より,2-3節で述べている一道七県の10a当たりの水稲収量デ ータを用い,近年の水稲収穫量の変化について確認を行った結果を示す.期間は1958年から2020年ま での63年分である(Fig.2.1).一道七県それぞれの収量,および平均値には明確な増加トレンドが存在 していた.このトレンドは,品種改良や農機具の発達による影響であると考えられる.



**Fig. 2.1** 北日本の 10a 当たりの水稲収量の時系列変化(1958-2020 年) 縦軸:10a 当たりの水稲収量[kg],横軸:年

付録3:近年の合成図解析の結果

4-2 節で示した近年の合成図解析の結果について、範囲を変更し描画した図を示す (Fig. 3.1~3.3).



**Fig. 3.1** 近年における SST の合成図 線:気候値(℃),色:気候値からの偏差(℃),網掛け:信頼係数 95%以上



**Fig. 3.2** 近年における 975hPa 面ジオポテンシャル高度の合成図 線:気候値(m),色:気候値からの偏差(m),網掛け:信頼係数 90%以上



**Fig. 3.3** 近年における 250hPa 面ジオポテンシャル高度の合成図 線:気候値(m),色:気候値からの偏差(m),<u>点:信頼係数 90%以下</u> ベクトル:東西風の気候値からの偏差が信頼係数 90%以上で有意であった風(m/s) 付録4:冷夏年の合成図解析の結果

4-3 節で示した冷夏年の合成図解析の結果について,範囲を変更し描画した図を示す(Fig. 4.1~4.3). 80N



**Fig. 4.1** 冷夏年における SST の合成図 線:気候値(℃),色:気候値からの偏差(℃),網掛け:信頼係数 95%以上



**Fig. 4.2** 冷夏年における 975hPa 面ジオポテンシャル高度の合成図 線:気候値(m),色:気候値からの偏差(m),網掛け:信頼係数 90%以上



 15

 Fig. 4.3 冷夏年における 250hPa 面ジオポテンシャル高度の合成図

 線:気候値(m),色:気候値からの偏差(m),網掛け:信頼係数 90%以上

 ベクトル:東西風の気候値からの偏差が信頼係数 90%以上で有意であった風(m/s)