

24. 東北・三陸沿岸地域

－大津波が周期的に来襲する危険極大の海岸

1. 地域概要

三陸とは、明治の初めに陸奥国(むつのくに)が分割されてできた5国のうちの、陸奥(りくおう)、陸中(りくちゅう)、陸前(りくぜん)の3国を総称したものです。その範囲は青森県と岩手県の全域、および宮城県の大部分を含んでいました。しかし現在では一般に、北上山地が太平洋に接し起伏の大きい海岸地形を示す、八戸から牡鹿半島にいたる直線距離およそ220 kmの範囲を、三陸とよんでいます。

三陸海岸の地形は、ほぼ中央にある宮古湾の付近を境にして異なります(図1)。北部では高い海岸段丘が発達し、海岸線はかなり滑らかです。これに対し南部は海岸線が激しく屈曲するという典型的なリアス海岸です。両方に共通するのは、湾奥の狭い低地部を除き、比高が最大で100 mにも及ぶ海食崖が連なることです。これは太平洋の荒波の激しい侵食作用により、陸地岩盤がほぼ垂直に削られてできた地形です。

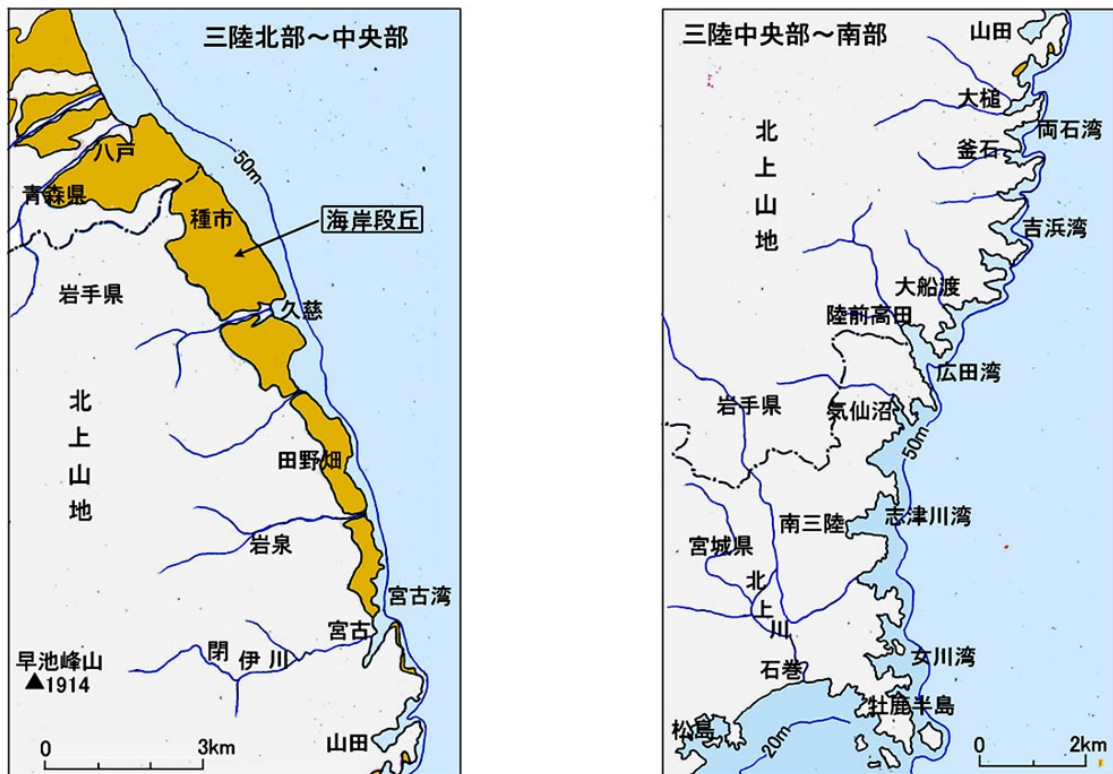


図1 三陸沿岸の地形(左図の下に右図が続く)南半部には海岸段丘がない

リアス海岸は、多数の尾根と谷が並ぶ山地に海が進入した場合に出現する地形です。海の進入は、地殻の沈降、海水面の上昇およびこの両者の複合により生じます。最新の地質時代である第四紀(約170万年前以降)の後期には、氷河期と間氷期の繰返しにより数回にわたって海面が大きく変動しました。最後の氷河期のピークは1.8万年前で、当時の海面は現在よりも130 mほど低い位置にありました。三陸南部のリアス海岸域の海底地形をみると、100 m以浅の等深線は湾内に向け屈曲して谷地形をつくっているのに対し、120 mの等深線はほとんど平滑です。このことから地殻の沈降はわずかで、氷河期後の海面上昇が現在のリアス地形をつくった主因と推定されます。北上山地から流れ出す河川の運搬土砂量は少なく湾底の埋立てはあまり進まないで、同じような山地地形が沈水と陸化を繰り返してきたものと考えられます。

一方、三陸北部では地殻のゆっくりとした隆起が進行してきました。ここには 40 ～ 400 m の高さに数段の岩石段丘が分布します。最も広いものは 200 m 付近にあります。これらの段丘は、海岸近くの浅海底が波の侵食作用によりほぼ平らに削られてできた地形（波食棚）が、地殻運動により高く持ち上げられたものです。一般に隆起域では、海岸に浅海底面の陸化による低地が分布するのですが、ここでは高さ 100 m もの海食崖が連続しています。このことは、最近では隆起運動は停止し波の侵食作用がもっぱら進行して、高い海食崖が成長したことを示します。高さ 40 m 付近にある最も低い段丘は、最後の海面上昇期（約 12 万年前）に形成されたと考えられていますが、この段丘面の幅は非常に狭いので、絶えず働いている強い波の侵食作用により、ほとんど削られてしまったものと推定されます。

東北地方の東方沖には太平洋プレートが沈み込む日本海溝が走り、頻繁に海溝型巨大地震とそれによる大きな津波が発生しています（図 2）。この海域に直面する三陸沿岸では、震源から 100 km 以上は離れているので震動はあまり大きくはならないものの、リアス式という海岸地形のために大きな津波災害を繰り返し被っています。リアス海岸では山が海に迫っているので、集落は狭くて低い湾岸低地に散在して立地することになり、津波に対する脆弱性の大きい居住状況がつくられます。

湾の平面形が V 字状であると、その湾奥では津波が押し込められて波高が高くなります。平面形や水深分布によって決まる固有振動周期が津波の周期と一致する湾で

は、共振現象により波高はさらに高くなります。三陸海岸は世界で最大の津波危険地帯なのです。

東北地方の太平洋側は、冷夏災害の危険がこれまた世界最大といってよい地域です。日本列島がヒマラヤ・チベットの高山岳をもつ広大なユーラシア大陸東岸に位置するという地理的条件に、東北太平洋岸がオホーツク海高気圧からの寒冷な北東気流（ヤマセ）をまともに受けるという条件が加わるからです。

悪い面ばかりではありません。奥深いリアス湾は天然の良港になります。三陸沖は黒潮と親潮とがぶつかり世界有数の漁場となっているので、八戸・気仙沼・石巻など多数の大きな漁港がこの三陸海岸にはあります。三陸沖はサンマ・カツオの主漁場で各地から漁船が集まってきます。湾は深いので、ウニ・ワカメ・カキなどの養殖漁業も盛んです。高い海食崖や奇岩が連なり屈曲に富む海岸地形のため、景勝の地ともなっています。

2. 津波災害

三陸地方ではかなりの被害を伴う津波が 20 ～ 30 年に 1 回ほどの頻度で起こっています。日本近海の津波に加え、チリ沖など太平洋対岸からの遠地津波も襲来しています。869 年貞観地震は明治三陸地震よりも大きい M8.6 の規模であったので、非常に大きな津波が生じたことは確かですが詳細は分かりません。1611 年の慶長地震 (M8.1) では、最大波高 20 m の津波が三陸海岸を襲い、大きな被害が生じました。田老・小湊・下攝待では集落全滅、宮古では民家 1,100 戸のうち残ったもの 6 戸などの記録があります。これ以降、1677 年延宝地震 (M8) で波高 4 m、1763 年宝暦地震 (M8) で波高 5 m（八戸）、1793 年寛政の地震 (M8.2) で波高 5 m（両石）、1856 年安政の地震 (M8) で波高 6 m

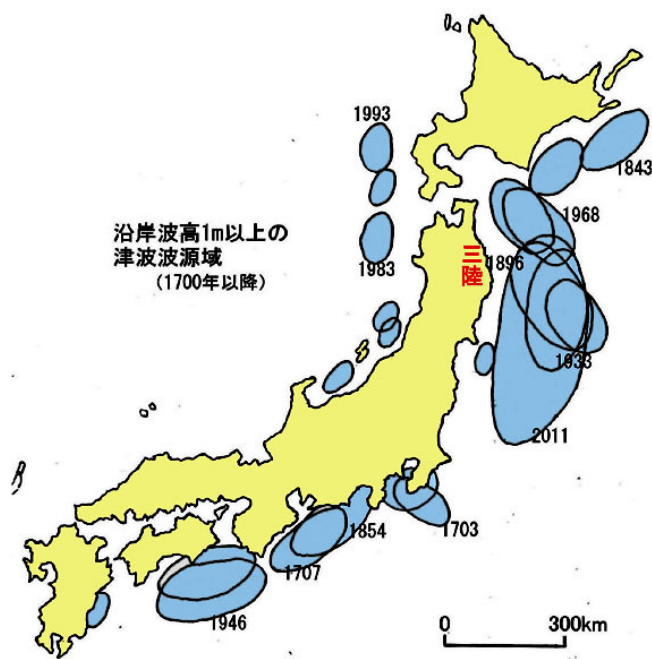


図 2 主要津波の波源域

(野田)などの津波が来襲しています。なお、水深3 mを超える津波に襲われると、木造家屋のほとんどが全壊します。最大の被害は1896年の明治三陸津波により生じました。

2.1 明治三陸津波

1896年(明治29年)6月15日19時すぎ、三陸海岸の東方200 kmの日本海溝沿いで強い地震が発生しました。陸地における震度は2～3ほどであったので、ちょうど旧暦の端午の節句を祝っていた人々は大して気にもとめませんでした。しかしこの地震は、断層破壊の進行がゆっくりと進むのでマグニチュードのわりには大きな津波を起こすという「津波地震」でした。断層面の広さは、長さが250 km、幅が80 kmという大きなもので、津波の規模から求められるマグニチュードは8.4という巨大規模の地震でした。津波地震は陸上で感じられる震動が小さいので、津波は不意打ちとなり人的被害を大きくします。

明治三陸津波と名づけられたこの津波の第1波は、地震から35～60分後に三陸海岸に到達しました。津波の到達標高は一般的に10 m程度、最大で38 m(綾里)でした。これによる被害は、岩手・宮城・青森の3県で死者・行方不明2.2万人、流失・倒壊家屋1.2万戸という著しいもので、日本の津波災害史上で最大の災害となりました(図3)。岩手県の36被災町村における家屋流失率は34%、死者率は17%、宮城県の17被災町村における家屋流失率は25%、死者率は11%でした。

津波は波長の非常に長い波であって、一般の風波とは全く異なり海面が数分間以上高まり、海水は継続して大量に流入してきます。したがって津波の高さが5 mにもなると、低い海岸低地に立地する集落では流失・倒壊率が100%近くにもなり、避難が間に合わないとなれば人的被害が非常に大きくなります。田老村(波高15 m)では死者数1,867人で死者率83%、唐丹村(波高17 m)では死者数1,684人で死者率66%、釜石町(波高8 m)では死者数3,765で死者率54%でした。田老村の田老地区ではほぼ全戸流失・倒壊し、生き残った人は海へ漁に出ていた人か山へ仕事に出かけていた人だけという状態で、一家全滅が345戸中で130戸にもなりました。岩手県全体では一家全滅が728戸でした。

このように度重なる被災の履歴があるにもかかわらず津波に備える態勢はなかったようで、震動が弱い津波地震であったことも関係して、非常に大きな人命被害をもたらす結果になりました。津波は神仏の祟りによるものといったような誤った俗説や語り伝えが、危険の認識を甘くしていたこともまた関係していたようです。高地移転は抜本的な危険除去対策であり、被災後にかなりの集落が集団であるいは分散して高地への移動を行ったのですが、田老地区のように原地再建した集落も多く見られました。

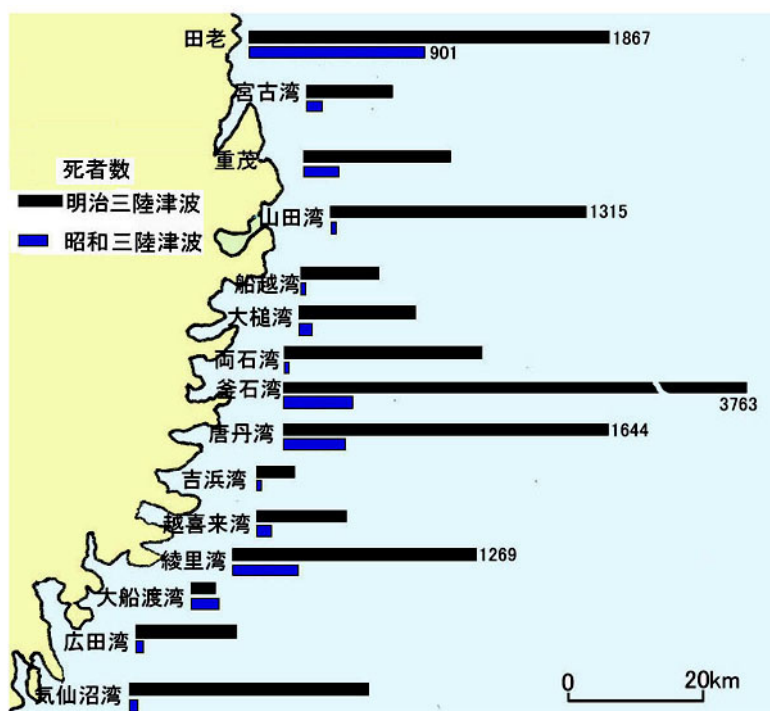


図3 湾ごとの死者数(北部では一部集落ごと)

2.2 昭和三陸津波

37年後の1933年に三陸沿岸は再び大きな津波に襲われました。このときは強い震動が感じられたことなどにより死者数は少なかったのですが、それでも3千人という多さでした。地震の発生は桃の節句の3月3日02時32分で、震源域は1896年のそれと半分ぐらい重なり、地震の規模は8.1で三陸海岸における震度は4～5でした。この地震の断層はプレート境界での低角逆断層ではなくて、太平洋プレート内部における正断層による地震でした。このいずれの場合にも、西方の日本列島に向けて海面の低下(引き波)が先行して伝わります。正断層では専ら海底の沈下が生ずるし、西に低角で傾斜する逆断層では陸地側に沈降部が現れるからです。

津波は地震の約30分後に三陸海岸に到達し、まず海水がかなり沖へ退き、ついで数分後に最初の高波が襲来しました。多くのところで第2波が最大で高さは10 mを超え、綾里では29 mに達しました。全般的にみて、明治の津波よりもやや規模が小さいものでした。それでも流失・倒潰家は7千戸にもなりました。ほとんどの人が寝静まっている時刻であったにもかかわらず死者数が明治に比べ少なかった理由としては、震度5の強い揺れが感じられたこと、明治の大津波の経験がまだ忘れられていなかったことなどが挙げられます。津波の周期は10分前後であり、大きな波は5波ほど到来しました。

明治の津波に比べ大部分の集落で死者数を大きく減らしたのですが、そうでなかった集落もいくつかありました。田老町田老(波高10 m)では全戸数362戸のうち358戸が流失・倒潰し、地区人口1,798人の44%にあたる792人が死亡するという、明治に引き続く大被害を被りました。ここは慶長大津波でも全滅の被害を受けています。唐丹村本郷(波高14 m)では全戸(101戸)が流失・倒潰し死者数は326人、死者率は53%でした。明治の津波後に高地への集団移転をおこなった船越村船越、唐桑村大沢、階上村杉の下などでは、ごく少数の原地復帰者が被災しただけでした。唐丹村小白浜(波高17 m)では、一旦高地へ集団移転したものの山火事に遭ったこともあって大部分が原地復帰しました。このため全160戸中98戸が流失・倒潰したのですが、死者数は7人でした。

昭和の津波による再被災の後、移転を渋っていた住民も行政の働きかけを受け入れ、岩手・宮城両県で98集落、約3,000戸が集団あるいは分散して高地移転を行いました。しかしその後、原地に新たな家並みが復帰者や新規居住者によってつくられているところが大部分です。

2.3 チリ地震津波

1960年5月23日午前4時すぎ(日本時間)、南米のチリ南部でマグニチュード9.5という観測史上最大の超巨大地震が発生しました。これによって生じた大きな津波は平均時速750 kmという高速で太平洋を横断し、22時間半後の午前3時ごろに太平洋の真向かいにある日本列島の沿岸に到達しました。津波は北海道から沖縄に至る太平洋岸のほぼ全域を襲い、波の正面にあたる三陸海岸では到達標高が8 mを超え(久慈8.1 m)、全国の死者139人の2/3がここで生じました。被害は大船渡(死者53)と志津川(死者37)で集中発生しました。

チリ海溝は日本に真横を向けているので、波源域の短軸方向に放出される強い波が日本に真っ直ぐ向かってきます。チリは17,000 km離れた地球の真裏近くに位置します。南極から放射状に広がる経線がすべて北極に収束していくことから分かるように、チリ沖から発進した津波は太平洋の中央で一旦発散しても、日本近くにやってくると集まってきて強くなります。しかもチリと日本の間には深い太平洋がほとんど障害物なしで広がっています。チリ沖など太平洋沿岸海域から来襲する遠地津波の被害は、50年に1回ほどの頻度で起こっています。

遠地津波では波源域が広大であることなどによって周期が40～60分と長くなります。津波の共振は湾の固有周期と津波周期が一致すると起こるので、それぞれの湾において近地津波と遠地津波とでは増幅の仕方が地震のたびに違ってきます。奥行きが深い大船渡湾ではこの長周期の波と共振して津波が増幅され、被害が大きくなりました。津波到達の最大標高は、1933年昭和三陸津波で

3.5 mであったのに対し、1960年には5.5 mとより大きくなりました。志津川では1933年津波の被害が小さかったことが危険意識を弱めて、被害を大きくすることにつながったと推定されます。

2.4 東北地方太平洋沖地震津波

2011年3月11日14時46分、牡鹿半島東南東130 kmの三陸沖を震央とするプレート境界地震が発生しました。震源断層は大きく南方に拡大し、最終的に長さ500 km、幅200 kmの範囲が最大25 mほどずれ、モーメントマグニチュードは9.0と超巨大規模でした。震度計による最大震度は7ですが、住家全壊率では最大が5%程度と震度6強ほどに相当するものでした。死者・行方不明の総数約1.8万人のほぼすべては津波によるもので、建物倒壊や斜面崩壊など津波以外の人的被害は全体の1%に達しない200人以下でした。津波の規模は明治三陸津波のそれをかなり上回り、最大遡上高が三陸リアス海岸で30～40 m、宮城・福島の前滑な海岸線の海岸平野において10～20 m、房総東岸で5 mほどでした。浸水総面積は535 km²、津波被災市町村における住家全壊は10.7万棟、半壊は10.2万棟(地震全体では両方合わせて26万棟)でした。明治および昭和の三陸津波とは異なり、牡鹿半島以南の海岸平野部にも大きな津波が襲来したこと、および昭和の津波以降に標高の低い海岸低地へ市街域が大きく拡大したことが、被害を非常に著しいものにしました。

牡鹿半島を境にして北方は三陸岩石海岸、南方は平滑な砂浜海岸線をもつ比較的広い海岸平野で、津波の高さや被害の様相はこの両地域でかなり異なります(図4)。死者・行方不明数は共におよそ1万人です。死者率(浸水域の人口で死者・行方不明数を割った値)は三陸海岸部で6.0%と、海岸平野部の3.2%の1.9倍です。死者・行方不明数と流失・全壊住家数との比で簡易に示す人的被害度は、三陸海岸部が海岸平野部の1.8倍の大きさです。

三陸リアス海岸では度重なる被災経験を持ち避難用の高地が近くにあるものの、20 mを大きく超える激しい流れの津波に襲われたことによって、より大きな人的被害度を示す結果となったと考えられます。一方、標高1～3 mという低くて平らな海岸平野部では、震央に直面する位置にあったものの、1 m近くの地盤沈降の影響も加わって、大きな破壊を及ぼす引き波の勢力が相対的に小さかった可能性があります。

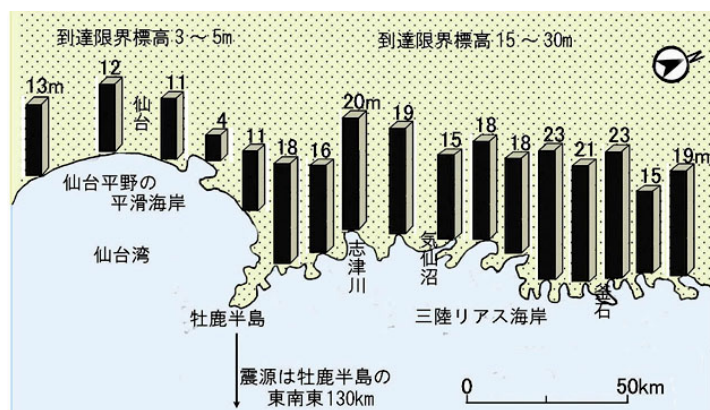


図4 東日本大震災のときの津波の海岸における高さ

2.5 高地移転

津波の危険が大きい海岸低地から高地への住居移転は、いわば建物・家財ぐるみの恒久的な避難であり、人命だけでなく経済的被害も防ぐ抜本的な対策です。しかし、危険が大きいと指摘されていても、さらには大きな被害を受けた場合でも、なかなか移転にまでは踏み切れないのが現実です。繰り返し大災害を被ってきたという世界で最大の津波危険地帯である三陸沿岸の集落はその典型例といえるでしょう。

明治三陸津波の後、三陸の多くの町村で安全な高地への集落移転が検討されたものの、実施したのは一部の地区にすぎませんでした(図5)。その理由としては、被災地区の大部分が漁村で海浜から離れるのは漁業に不便である、零細漁民が多くて資金的に困難である、地区民の利害が一致せず合意形成は難しい、移転地の選定・買収に当たり地主との対立が生ずる、などが挙げられました。また、傾斜地の土地造成は当時の土木技術水準の面から制約がありました。このため各戸が任意に

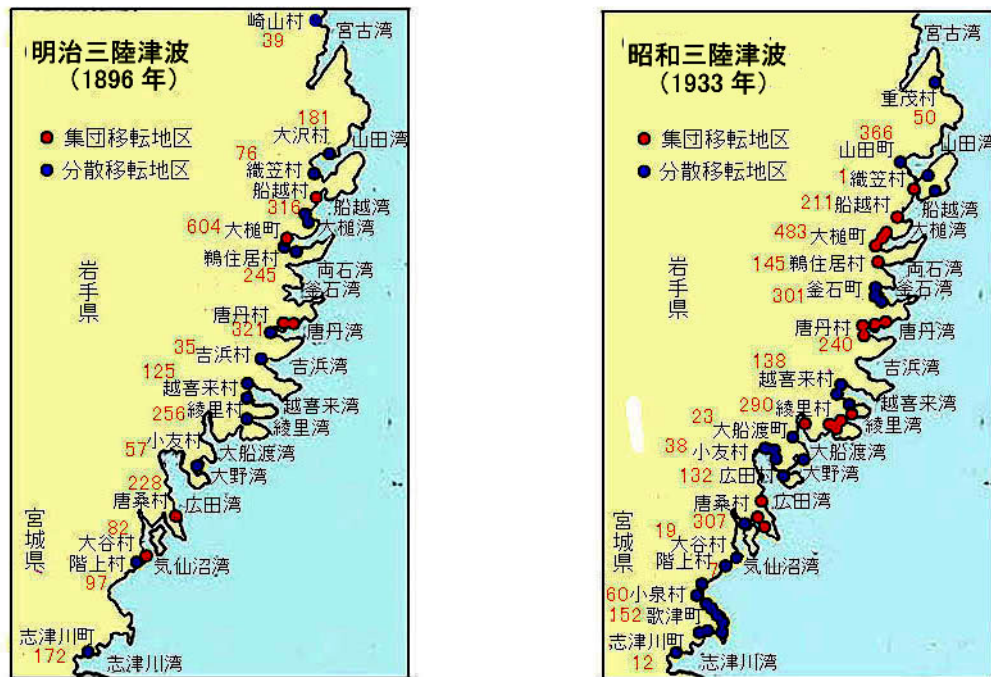


図5 集落の高地移転 赤数字は住家流失・全壊数

行う分散移動が主として行われました。漁業共同体としての集落を再興し維持するために、他地区への移住をやめさせようとする働きかけもあったようです。

結局、大部分の被災集落は原地再建を選択したので危険は解消されず、昭和の再被災につながりました。少数ながら行われた集落移転の跡地には、移転者の一部が復歸したり、その分家や他村からの移住者が住みついたりしました。家系の再興、屋敷・耕地の継承などのために移住者の積極的受け入れも行われたようです。

昭和三陸津波では、明治の貴重な経験を活かして迅速な避難が行われ、死者数を大きく減少させました。しかし、建物はもちろん避難できないので多数の地区が壊滅的な破壊を受け、集落の再建が必要になりました。そこで、集落の高地移動が主要復興事業の1つに取り上げられ、県はこれを積極的に推進し、国は国庫補助および低利資金利子補給で支援しました。これにより当初は岩手・宮城両県で35町村の102集落が移転のための宅地造成計画をたてました。適地の条件は、海浜に近いこと、既往津波の最高浸水線以上に位置すること、海を望み得ること、南面の高地であること、飲料水が容易に得られることなどでした。しかし、適地が得難いことに加え、資金調達困難、農地転用上の障害、地主との対立などの問題があって、結局、およそ100集落で約3,000戸が、分散あるいは集団で高地移転を実施しました。これ以外に個別に移住した人々は多かったでしょう。

危険な海岸低地への居住を制約するために、宮城県は県令により津波罹災地および津波罹災の虞れある地域における居住用建物の建築を規制しました。しかし時が経つにつれ、漁業に不便などによる元屋敷への復歸、分家や他地区からの移住者の居住などにより、大部分の地区で元のような家並みが復活しました。高地移転先は出来る限り元の集落に近いところが選定されて、その平均標高は10m程度でした。したがって、これをかなり超える高さの2011年津波により、これらの高地移転地区の半数以上が部分的にせよ被害を被りました。

2011年東日本大震災の後には、津波により被災した30市町村の230地区で、約3万戸の集団移転が予定されています(2014年1月現在)。津波の高さは数十メートルにもなり得るので防波堤の防御機能には大きな限界があり、高地での居住が最優先の対応策です。

3. 冷夏災害

日本列島はヒマラヤ・チベットの高山岳域の風下にあたる、夏季に大陸と北部太平洋との温度差が大きくなるなどのために、偏西風が日本付近で大きく蛇行しやすいという地理的条件があります。偏西風が大きく波動して北極の気団が南へ張り出しブロッキングされた状態となって持続すると、低温が継続します。停滞した気団の境界は前線帯となり雨天と日照不足が続きます。日本は島国であり、気流はすべて海を渡ってくるので下層に多量の水分を含みます。これが霧をつくり、また雨を多くして、日射を妨げ低温をもたらします。

ユーラシア大陸東岸域はモンスーン気候下にあり、夏には南東からの気流に支配されてかなり高緯度まで暑いのが通常です。降水量もまた多く、同緯度の他地域の2～3倍あります。暑い夏の年が多く水が豊富という環境条件を生かして、人口支持力の大きいイネが主食穀物として栽培されています。イネは熱帯・亜熱帯が原産地で、生育に高い気温が必要です。稲作地帯において夏の低温の影響は特に大きいのです。

長年にわたる品種改良により、現在日本の水稻作の中心地は、東北地方の日本海側から北陸にかけての寒冷積雪地帯にあります。寒冷地の自然環境は、冷害と病虫害が回避されるならば、稲作にとって有利なのです。これは、緯度が高いので日照時間が長い、気温の日較差が大きい、東北地方では太平洋側に比べ日本海側のほうが夏季に晴天の日が多く気温も高い、呼吸作用による光合成物質の消費量が低温のため少ない(穀実としての貯蔵が多い)、融雪により多量の水が継続的に供給される、などの理由によるものです。この地域の収量が全国で最高になったのは1960年ごろで、苗代改良によって早植が可能になり栽培期間が短縮されたことが大きく貢献しています。しかし、冷夏が克服されたわけでは決してありません。

日本に冷夏をもたらす気圧配置には、北東気流型と北西気流型(寒冷セル型)があります。北東気流型(ヤマセ型)は、夏季になっても北方気団のオホーツク海高気圧が強くて日本付近にまで張り出し、北日本の太平洋側に冷湿な北東気流(ヤマセ)を送り込むというものです。この気流は寒流である親潮の上を吹いてくる間に下層が冷却されて、霧が発生します。これが北海道および東北の太平洋岸に吹き込んで低温と日照不足をもたらします。ヤマセの気流は下層ほど気温が低い、したがって重いという安定成層状態のために、高さが1,000 m程度と低いので、その気流の動きは山地地形の影響を大きく受けます。したがって、脊梁山脈を越えた西側では、フェーン現象が起こることもあって、あまり低温にはなりません。

北西気流型は、夏季になっても大陸が低圧部とならずにシベリア高気圧が残り、寒冷な北西気流が寒冷渦(セル)となって日本付近に流れ出すものです。気圧配置は西高東低の冬型のようになります。この場合は北日本あるいは日本の全域が低温になる可能性があります。

東北地方では7～8月の平均気温がおおよそ22℃(平年との差が約-1℃)を下回ると、水稻に被害が現れてきます。水稻にとって22～26℃が適温であり、24℃付近で収量が最大です。生育期の低温は成長が遅れるという遅延型冷害を、生殖期の低温は実が結ばないという障害型冷害を引き起こします。とくに減数分裂期(出穂前5～15日前)の低温は大きな影響を与えます。夏を通じて低温が続くと遅延型と障害型の冷害が重なって大凶作となります。前線が日本付近に停滞すると長雨と日照不足によって減収は一層大きくなります。収量の多い晩生種は、栽培期間が長いので冷害を受けやすい品種です。

1993年には北東気流型と北西気流型とが重なって、8月になっても全国的に低温・日照不足が続き、気象庁は南西諸島を除き梅雨明け日を確定することができませんでした。6～8月の平均気温の平年値との差は東北太平洋岸で-3℃、西日本太平洋岸でも-1℃でした。また、長雨が続き、降水量は西南日本では平年の1.5倍を超え、日照時間は平年の50%程度でした。これにより水稻の作況指数は全国平均で74、東北三陸沿岸では10以下という超大凶作になりました(図6)。農作物の被害額は1兆円(内水陸稲81%、地域別では東北51%、北海道23%)に達しました。

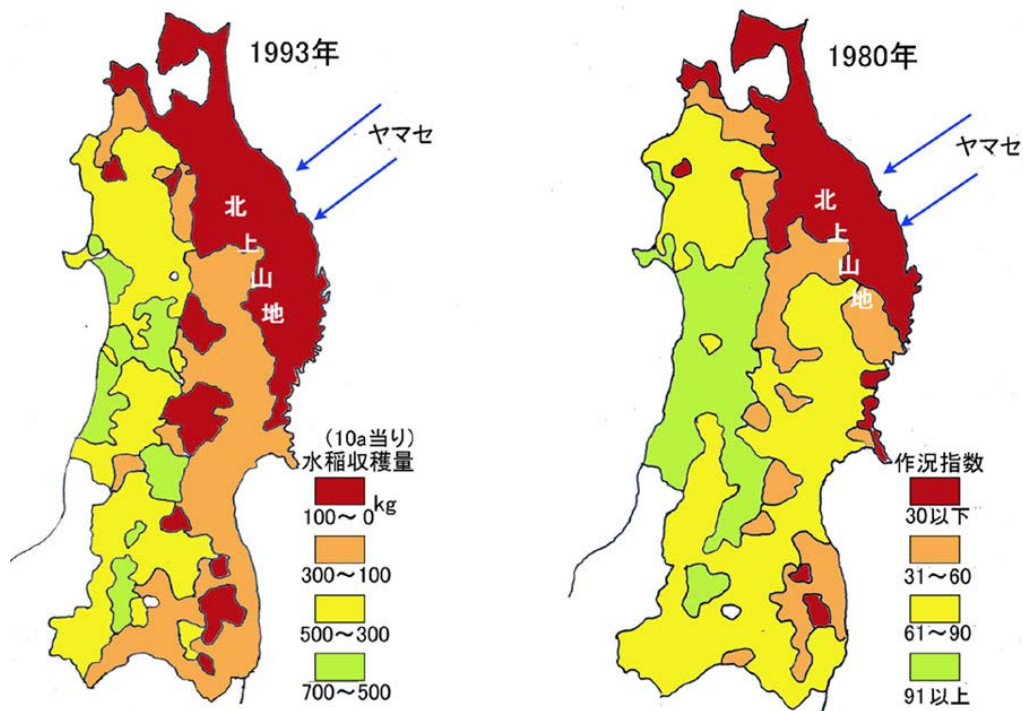


図6 1993年と1980年の冷害による水稻の収穫(市町村単位) (気象庁, 1994による)

1980年にも大冷害が発生し全国の作況指数は86, 農作物被害金額は7,000億円でした。これはヤマセ型であったので、三陸沿岸で作況指数が10以下であったのに対し、秋田・山形の日本海沿岸では100を越え平年並みの収穫となり、地域差が大きく現れました。

東北地方では水稻収穫量が平年の80%以下になるという凶作が、1900年代にはおよそ8年に1回の頻度で起こっています(図7)。1993年の冷害では東北地方の作況指数が57という大凶作となりました。1900年代前半にあった1902年, 1906年, 1913年, 1934年の大冷害もこれと同規模(平年作の半分近く)の減収率でした。しかしその影響度は大きく違います。水稻反収は品種改良や稲作技術向上により、1910年代に比べ90年代では2.5倍にも増加しました。このため1993年の大凶作でも平均反収は10年代の5割近くも多いものでした。

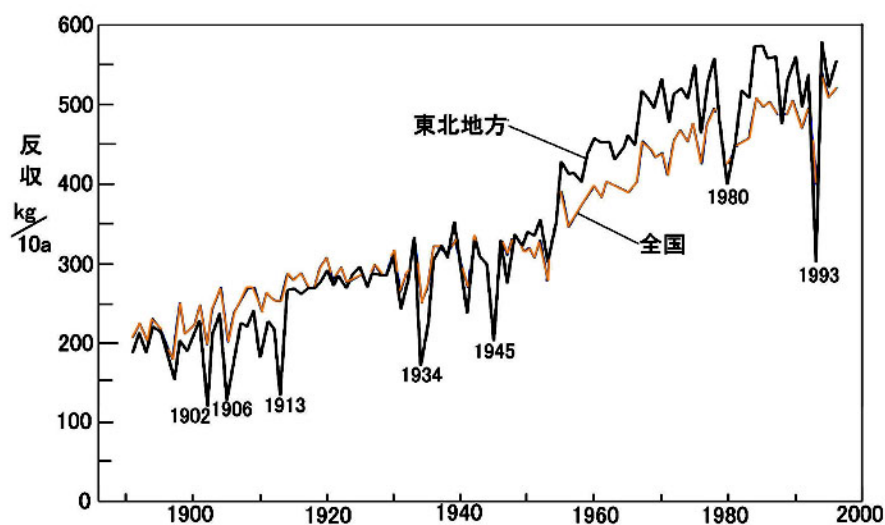


図7 水稻収穫量の経年変化(1891～1996) (気象庁資料)

北日本の夏季気温の年変動は大きく、数年に1回の割合で冷夏に見舞われています。とくに18世紀から19世紀半ばにかけて地球全体の気温が低下し、日本でも頻繁に冷害とそれによる飢饉が起きました。この期間には3年に1回の頻度で東北凶作・大凶作の記録が見られます。とりわけ、享保(1717～20)、天明(1783～89)、天保(1833～38)の冷害・病虫害による飢饉は著しいものでした。当時の人口統計から、それぞれ100万人ほどの死者(多くは餓死)が出たと推定されます。

.

菅野洋光(1994)：平成大凶作：北日本(東北日本)の冷害。地理 39-6。

気象庁(1994)：平成5年冷夏・長雨調査報告。気象庁技術報告第115号。

小島ほか編(1997)：日本の自然 地域編，東北。岩波書店。

中村ほか(1980)：日本の気候。日本の自然 5，岩波書店。

田村ほか編(2008)：日本の地誌 4，東北。朝倉書店。

宇佐美龍夫(1996)：新編日本被害地震総覧。東京大学出版会。

山口弥一郎(1960)：三陸の津波。日本地誌ゼミナールⅡ，大明堂。

防災基礎講座：地域災害環境編

http://dil.bosai.go.jp/workshop/06kouza_kankyo/

公開：平成 28 年 10 月

国立研究開発法人 防災科学技術研究所 自然災害情報室

文責：水谷武司(客員研究員)