

東北地方におけるダイズ収量を規定する
気象要因と栽培技術に関する調査研究

山 根 正 博

目 次

第 1 章	緒論	1
第 2 章	東北地方におけるダイズ収量と気象要因の関係	18
第 1 節	収量と年次間変動	20
第 2 節	収量と地域間変動	30
第 3 節	収量と気象要因との関係	37
第 3 章	ダイズ多収生産者の多収要因の解析	61
第 1 節	対象生産者の立地・経営条件	64
第 2 節	多収生産者のダイズ生育経過	69
第 3 節	多収生産者の栽培技術	74
第 4 章	総合考察	91
摘 要		99
引用文献		104
謝 辞		109

第 1 章 緒 論

1. 日本のダイズ作付面積と収量の推移および生産費

日本のダイズ作付面積の推移を振り返ると、1890年から1924年にかけて40万ha台の水準を保ってきたが、中国北東部からの輸入に伴い20万ha台まで減少した。収量は100kg/10a前後を推移していたが、戦後の増産努力により1950年に再び40万ha台に回復し、収量も130kg/10aに増加した。1956年以降はアメリカ産ダイズの輸入増および1961年の輸入自由化により作付面積は10万ha台に減少したが日本の平均収量は増加し続けた。1971年に水田転作政策が開始され主要作物にダイズが指定されたが、転作面積の増加に伴って面積が増減し、今日では作付面積137,700ha、収量162kg/10a(農林水産省)となっている。

世界の平均収量は238kg/10aであり、日本と比べると4割程高く、収量は100年前に比べると確実に増加しているが、決して高い水準とは言えない(国際連合食糧農業機関)。

国産ダイズは収量が低く面積も減少傾向にあるが、健康志向の高まりからダイズの持つ高い栄養価に期待が寄せられているため需要は大きい。わが国の食品用ダイズの需要は年間100万tであるが、国内生産量は25万tに満たないため、自給率は25%と低く、輸入に頼らざるをえないのが現状である(清水2000)。

さらに 1960 年から水稻の平均収量は着実に増収しているにも関わらず，ダイズは大きく変化していない．水稻と比べても年次間変動が非常に大きい現状がある（図 1-1）．

生産費も世界に比べ日本は非常に高い．アメリカでは大型機械を使用し，平均 127ha を耕作するため，低経費，高収量を可能にしている（清水 2000）．それに比べ日本は 10ha 規模に小型機械で生産するために，高経費，低収量であり，輸入品と比べ大きな価格差が生じている．現在の日本農家はダイズ販売価格だけでは収益を確保できず 10a 当たりの所得が - 21,830 円と赤字経営を強いられ，国の助成金 20,966 円（収量 130kg/10a, 2 等級の場合）を受け取り，経営を成り立たせている（農林水産省）．農家収入を上げるには，経費削減と収量増加を同時に行うことが必須である．収量を世界平均まで上げることが出来れば，日本の食用ダイズの自給率 25% を 33% に引き上げられる．同時に経費削減を行い，助成金に依存しない安定経営が今後は必要であろう．

2. 東北地方におけるダイズ作の現状

東北地方のダイズ作付面積は 1940 年代に 5 万 ha であったが，1950 年代には 10 万 ha まで増加した．輸入自由化が始まった 1961 年から減少傾向となり，1970 年代には現在の 3 万 ha まで減少した．1954 年に作付面積は過去最大の 11.4 万 ha に達したが 1992 年には最も

少ない 1.8 万 ha となり 6 分の 1 の面積まで減少した。

都道府県別にダイズの作付面積(2010年度)を見ると、1位北海道(24,400ha)、2位宮城(11,100ha)、3位秋田(8,420ha)、7位山形(6,580ha)、11位岩手(4,420ha)、13位青森(4,320ha)、16位福島(2,880ha)である。全国作付面積137,700haに対し、東北地方は37,700haで全国の27.4%を占めている。過去10年間の平均作付面積をみても東北地方は全国の26.8%を占めており、全国の中でも有数のダイズ産地と言える。

しかし、2010年度全国ダイズ生産量は222,500tに対し、東北地方は48,100tとなり全国の21.6%しか占めていない。作付面積のシェア27.4%に比べ、生産量は面積のわりに少なく、過去10年を見ても全国の収量を超えたことがない。収量は全国が162kg/10aに対し、東北地方は128kg/10aで全国に比べて79%にすぎない(図1-2)。収量を県別にみると青森が142kg、岩手が103kg、秋田が102kg、宮城が161kg、山形が120kg、福島が106kgで、全国平均以上の収量をあげた県はなかった。

さらに収量の年次変動は極めて大きく、各県で変動の様相が異なることから、気象要因、土壌、栽培技術要因などの影響が指摘されている(高橋ら1990)。その中でも気象要因は影響が大きく、東北地域の気象要素を用いた地帯区分により、その地域のダイズの収量とその変動の程度をかなり説明できることが明らかにな

っている（高橋ら 1990）。

このようにダイズは水稻に比べて収量が大きく変動するが，ダイズ産地として地位を確立するためには，どのような気象条件下であっても一定以上の生産量が必要であり，不足の場合はダイズ産地として信用が失墜する（高橋ら 1990，持田 2009）。気象に左右されやすい作物は耕作者の定着が不安定になりやすく，作りにくいイメージを植え付けるため，気象に左右されないダイズ栽培技術が必要である。

3. ダイズ収量に影響を及ぼす要因と既往の研究

ダイズ収量に影響する主要な要因として気象，土壌，栽培技術の 3 つが考えられる。高橋ら（1990）と持田（2009）は東北地方のダイズ収量は気象条件と栽培体系が収量を規定していることを指摘している。そのため，ダイズ収量変動要因は気象以外の要因も含めて総合的に解析する必要がある。ここでは収量に影響を及ぼす 3 要因の研究を統括しながら論ずる。

(1) 気象要因

気象要因として気温，日射量および降水量があげられる。特にダイズは湿害や干ばつに弱い作物であることから，降水量は収量に影響を及ぼしやすく，土壌の過湿は減収を招く。例えば，土壌の過湿状態が続くと発芽時および発芽後に湿害を受けやすく，降雨が全く

ない乾燥状態が続くと発芽ムラを生じる。生育期になると梅雨の影響から根毛の発達，生理機能への影響から生育を阻害し減収に繋がる（高橋ら 2014）。

Hiler ら（1974）は生育段階別に強い水分欠乏を与え，水分不足のなかったダイズと比べ，どの程度減収するか調査した結果，開花期に大量の水分を必要とするため，夏季に晴天が続く地域では乾燥によって大きく収量が低下することを明らかにした。この結果を踏まえ，着莢数を確保するためには開花期に多量の水分を必要とするため，適度な降雨の必要性が指摘されている。

小山ら（1981）はダイズ収量に与える気象要因の影響について成長解析データを基礎とした統計的研究を行い，北九州の条件下において結実期の日照条件と降水量の影響が大きいとしている。

鈴木ら（1982）は，7月～9月にかけて高温，多照，少雨条件で経過した場合に減収する傾向がみられ，灌漑施設がない畑作地域では土壌水分が不足し，ダイズの生育と収量に悪影響を与えることを指摘している。8月～9月にかけて降水量が多いと全粒重が増加して多収になり，開花期の降雨は開花数と着莢数を増加させて収量にプラスの影響を与えることを認めている。以上からダイズは生育に合わせて適度な降雨があった場合に増収することがわかる。

さらにダイズは高温下では，結実期間の短縮，莢数，粒重が減少するが減少程度には品種間差が認められて

いる(福井・荒井 1951)。昼夜高温区で成熟が促進され、百粒重が減少する傾向があるとの報告に対し、古谷(1950)は開花終了後成熟まで高夜温処理を与え、結実に対して有意な差異をもたらさなかったと報告しており、結実に対する気温の影響に関しては見解が一定していない。

東北地方のダイズ播種適期は5月上旬から6月上旬(桃屋ら 1982, 森下ら 1982)となっているため、花芽分化開始にあたる7月から結実期の9月までの気象条件がもっとも影響が大きい(岩切 1976)。岩切(1976)は収量と各月の気象要因との関係を解析し、いくつかの知見を報告している。第一に、収量と各月の平均気温、日射量との相関関係を見出すことは難しいが、開花～結実期にあたる8月～9月の平均収量(Y)を日射量(Q)で除した値(Y/Q)と平均気温との関係をみると高温条件に対する依存度が高いことを見出した。さらに、ダイズにとって好適な気温は7月～8月では21～22℃付近にあり、これより気温が低下するほど急激に収量は減少するとしている。特に8月の気温低下に伴う減収が著しく、20℃以下では1℃の低下に伴い25%低下する。6月と9月の温度の影響は7月と8月に比べると小さい。ダイズ収量の年次変動は7月～8月の平均気温の変動と密接な関係があり、特に北緯36°以北の地域での相関は非常に高いことが指摘されている。

既存の研究を見ると平均気温をデータ分析として利

用しているものが多いが，最高・最低気温も収量に与える影響についても大きいことが指摘されている（大江ら 2007）．

発芽から開花期までに晴天が多いと光合成が促進され，生育量を確保しやすいが，低温や少雨に遭遇すると光合成が低下し，生育量を確保することができない．ダイズの光合成温度反応は，気温が 25～35℃ の範囲内の温度の影響は小さいという実験結果（村田・猪山 1960）や，15～30℃ の気温範囲では温度の影響は小さいが最適値は約 26℃ であるという結果（福井ら 1965）が得られている．

国分（1988）はダイズの登熟期間の時期別遮光試験を行い，開花始期 3 日後から 33 日後の間の遮光は莢数，さらには子実収量を大きく減少させることから，この時期の日射量はダイズの子実生産にとって重要としている．また，国分（1988）はダイズ開花期から葉群の上層を直立させることにより，群落下層にまで光が届くようにしたところ，子実収量が 10% ほど増えたことを報告している．

田村（1993）は，東北地方におけるダイズ収量を最大とする乾物生産パターンを解析し，その生育パターンは日照などの気象条件に大きく影響され，東北地方の太平洋岸ではその潜在能力を発揮できることが少ないとしている．さらに，開花期から最大繁茂期間にダイズの莢数が決定するという報告や，ダイズ収量は期間

の生育量により左右されるという報告は多く，東北地方の太平洋側では開花期から最大繁茂期間にかけての好天は日射量が増加し収量を増加させる（有原 2000）。

東北のダイズ播種適期は5月上旬から6月上旬であるが（桃屋ら 1982），東北南部は6月の梅雨に播種時期が重なるために降雨の多少が適期播種に影響する。この時期から夏にかけて太平洋側にはやませが吹き込み，低温・寡照の影響を強く受け，生育・収量・土壌条件等に悪影響を与える。やませの影響は最終的に日照不足により，ダイズを含む様々な作物の生育が抑制され収量が低下する（茂市ら 1985）。さらに，夏季になると日本海側と太平洋側では山脈から乾燥した暖かい風が流れ込むフェーン現象により気温が35℃以上になる異常気象が起きやすい。日本海側ではフェーン現象で高温になるが，夜間は気温が下がり昼夜の温度差が非常に大きくなる。やませとフェーン現象，そして，海流や南北にそびえる奥羽山脈の影響から日本海側と太平洋側では気温や降水量に大きな差が生じる。東北の太平洋側では夏の好天がダイズに極めて好影響をもたらすが，生育期間の積算気温や積算日射量と収量の相関がみられなかったことから，ダイズではある特定の時期の気象条件が収量に影響していることを示唆している（有原 2000）。

高橋ら（1990）は気温，日照の気象特性から東北地方を6つの地域に分類し，ダイズ収量が気象により大き

く変動することを示した。持田(2009)は1969年から1978年までの東北地域のダイズ収量には年次変動が少ないが、1979年から1998年までは変動が大きいことを示した。日本海側では気温が高く、日照も長いので収量は高く変動が少ないが、太平洋側では気温が低く、日照も短いので収量は低く変動が大きいと指摘した。1999年以降に日本海側の収量が減少し、変動が大きくなったが、その要因は気象災害の影響と転換畑の増加をあげている。内島ら(1987)はダイズ収量が他多物よりも増加率が低いことに加えその年次間変動の大きい特徴を指摘している。

以上のように、ダイズ収量は降水量、平均気温、日射の気象要因の影響を大きく受けている。過去の研究では降水量、平均気温、日射量と収量の関係を明らかにしたものが多いが、最高気温と最低気温を論じたものはない。最高・最低気温が作物の収量に影響することを示した研究例もあることから、全ての気温データを用いて収量との関係を明らかにする必要がある。

また、県単位で収量と気象の解析例はあるが、市町村単位で収量との関係を示した研究はない。過去の地帯区分の研究においても県をまたいで区分されていることから、より詳細な区分を行うことがダイズ収量と気象要因の関係性をより詳細に明らかにできると考えられる。

さらに、これまでの地帯区分は平均収量の区分しか

行われていないが，各地域で収量変動が大きいことから，変動の程度による区分を行うことにより既存の研究よりも詳細な区分が可能と思われる．

本研究では，市町村ごとに気象要因と収量水準・変動の関係を明らかにし，東北地方における各地域の気象特徴に対応したダイズの安定多収化の方策に資する基礎知見を得ようとした．

(2) 土 壌 要 因

ダイズの生育・収量を規定する土壌要因としては物理性，化学性，生物性の3つに分類することができる．ダイズは根粒菌との共生により窒素を吸収するが，吸収窒素の50～80%を根粒菌からの供給に依存するため(有原2000)，土中でいかに根粒菌を生存させ増殖させるかが収量の向上に繋がる．根粒菌を増加させるためには，土壌の保水力や通気性を改善して土壌物理性を向上させることが不可欠といえる．特に土壌の排水性が悪いと根粒菌に酸素が供給されず，根への着生を阻害し減収の一因となる．

近年では長期輪作畑の割合が増加しており，土壌有機物の減少と物理性が失われ，根粒菌の着生を阻害することが明らかになっている(元木ら2012)．また，連作によりダイズシストセンチュウが増加し減収の要因になっている(前波ら1986)．

1999年以降は日本海側のダイズ収量が減少し，変動

が大きくなったが，気象災害の影響とともに転換畑の増加が原因としてあげられている．日本海側のダイズの収量は水田転換畑では畑地に比べて地力が高く用水が得られやすいためダイズの生産性が高いことが指摘され（松村 2004），高い水田作付率が日本海側のダイズ多収を支えてきたとしている（持田 2009）．しかし，住田ら（2005）は田畑輪換の繰り返しの中で水田におけるダイズの作付割合が高まり，地力が低下したことを指摘している（持田 2009）．

以上のようにダイズの長期輪作による減収は過去の研究で明らかになっているが，生産者の中には長期輪作を行っても，通年で多収を実現する生産者が存在している．このような事例を調査解析することで新たな技術要素を見出しうる可能性がある．本研究では宮城と山形における多収生産者を対象に，土壌特性と生育・収量を調査し，これら生産者の多収に寄与する土壌要因を明らかにしようとした．

(3) 栽培要因

ダイズ多収のための栽培要因として，まず土作りがあげられる．連作障害，ダイズシストセンチュウ，雑草，土壌物理性低下は減収につながるため，ブロックローテーション，堆肥散布，生糞すき込み，土壌改良剤の散布などを行いながら長期的に土壌を改良することが求められる．高橋ら（1990）は水田転換畑率の違い

が収量に影響していることを指摘した。太平洋側における水田転換畑率は岩手 29.2%，宮城 48.3%，福島 53.9% に対し，日本海側は秋田 83.8%，山形 81.1% と高い値を示しており，同様に太平洋側よりも日本海側のダイズ収量が高い傾向にあることを示した。住田ら（2005）も水田転換畑の収量は普通畑に比べて収量が高いことを指摘している。これらの研究において品種間の収量の差の要因として，耐病性と耐シストセンチュウ性の有無の影響は小さいとしている（高橋ら 1990）。

品種選択に関しては，地域の気候や栽培条件にあわせて収量性，耐冷性，機械適応性，耐病害性，耐害虫性，耐倒伏性，早晚性を考慮して品種を選ぶ必要がある。積算温度によりダイズは生育量が左右されるために，地域に合わない品種は十分な成長を確保できずに減収となってしまう。ダイズ栽培には極早生種でも積算気温が最低 2,000℃ は必要で，日平均気温が 12℃ 以上の日数が 120 日以上なくてはならない（平野ら 1988）。そのため，東北地方北部ではダイズの播種時期の幅が限定されている（橋本 1980）。南に下がるにつれて栽培可能期間が長くなるが，過度の早播きでは栄養成長が過剰気味となり倒伏が増大し，最終的に莢数と収量が減少することが指摘されている（橋本 1980）。

播種前には排水対策（暗渠，明渠）を行い梅雨時期においても土壌排水が十分にできるような圃場条件にしておく必要がある。

播種は播種密度，適期播種を考慮して行う．全国の播種時期はダイズ栽培が畑から水田転作畑に移るにつれて遅くなっているが，東北地方や北海道はあまり変化がない（島田・広川 1983）．東北地方の南部では6月の梅雨に播種時期が重なるために降雨の多少が播種時期に影響する．その後は品種にあった施肥設計（基肥，追肥），雑草防除（除草剤，中耕培土，手取り），中耕培土（適期中耕）を生育に合わせて行わなければならない．その他にも干ばつ時の灌水や病虫害防除を生育や害虫の発生状況に合わせて行う必要がある．

収穫時には機械操作を行う上で刈取ロスを極力少なくし，適期刈取を行わなければならない．しかし，気象の関係上すべてを実践することは難しい．例えば，中耕培土を行う場合，降雨があると圃場に入ることができない．たとえ好天に恵まれた場合であっても排水性が低い圃場では排水が追いつかず，機械作業を行うことができない場合が生じる．そのため，気象条件により様々な作業に影響を受けることになる．

ダイズは上記に記した3つの要因により収量の影響を受ける．特に気象要因と土壌要因により収量が規定される場合が多い．気象要因と土壌要因は地域により大きく異なるため，地域にあった栽培条件を確立し実践していくことが不可欠となる．

全国の平均収量が $162\text{kg}/10\text{a}$ の中で毎年 $250\sim 300\text{kg}/10\text{a}$ を確保する多収農家を対象に調査解析する

ことにより，彼らの多収を支える栽培技術要因を明らかにし，各地域の条件に適した多収を実現する方策を提示できると考えられる．

4. 本研究の目的

東北地方は日本でも有数のダイズ産地であり，作付面積も大きいですが，収量は全国平均以下である．また，東北地方は各県において気象要因が異なり，収量も変動することから，地域に適した栽培技術を確立することは急務と考えられる．

本論文は，第1章では日本および東北地方のダイズ作を取り巻く背景と課題を論述し，ダイズの収量を規定する要因として気象要因，土壌要因，栽培要因の3つを取り上げ既往の研究を統括した．

第2章では東北地方のダイズ収量を規定する気象要因に関する解析を行った．市町村単位に41地点における過去16年のダイズ収量と気象要因（平均気温，最低気温，最高気温，降水量，日射量）の地域間差，年次間差を調査した．また，収量データから気象要因の解析を行い，既存の研究結果との比較を行った．過去の研究では気象要因として日射量，降水量，平均気温を取り上げて解析しているものが多いが，本研究ではさらに最低気温，最高気温を加えて総合的に解析を行った．また，既存の研究では収量を基準に地帯区分を行っているが，本研究では収量変動をも基準にしてより詳細

な区分を行った。各地域単位のダイズ収量に影響する気象要因を明らかにすることで、市町村ごとの栽培方法を改善する基礎知見を提供することを目的としたものである。

第3章では第2章の結果を念頭に置き、平均収量が低い宮城と高い山形の多収生産者を対象に調査を実施した。土壌、生育、収量を測定するとともに、栽培技術を農家から聞き取りを行った。気象要因が大きく異なる2つの県で、通年多収を実現している農家の多収要因を明らかにしようとした。

第4章においては、以上の結果を総合的にとりまとめ、各地域における気象要因の問題点を提示し、それに対応する栽培技術の方向性を論じた。

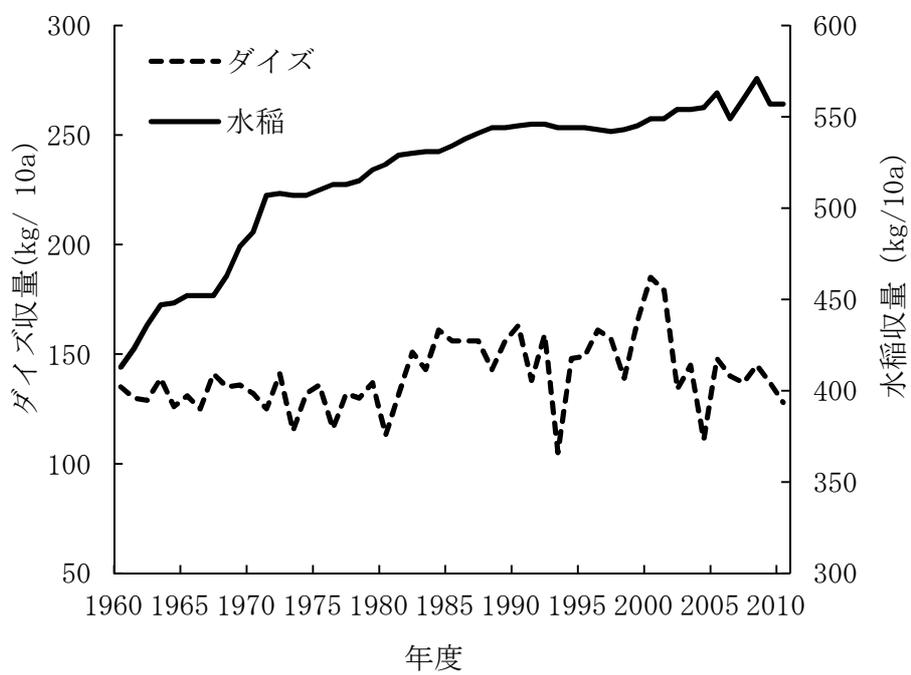


図1-1 全国の水稲とダイズの収量推移（農林水産省）

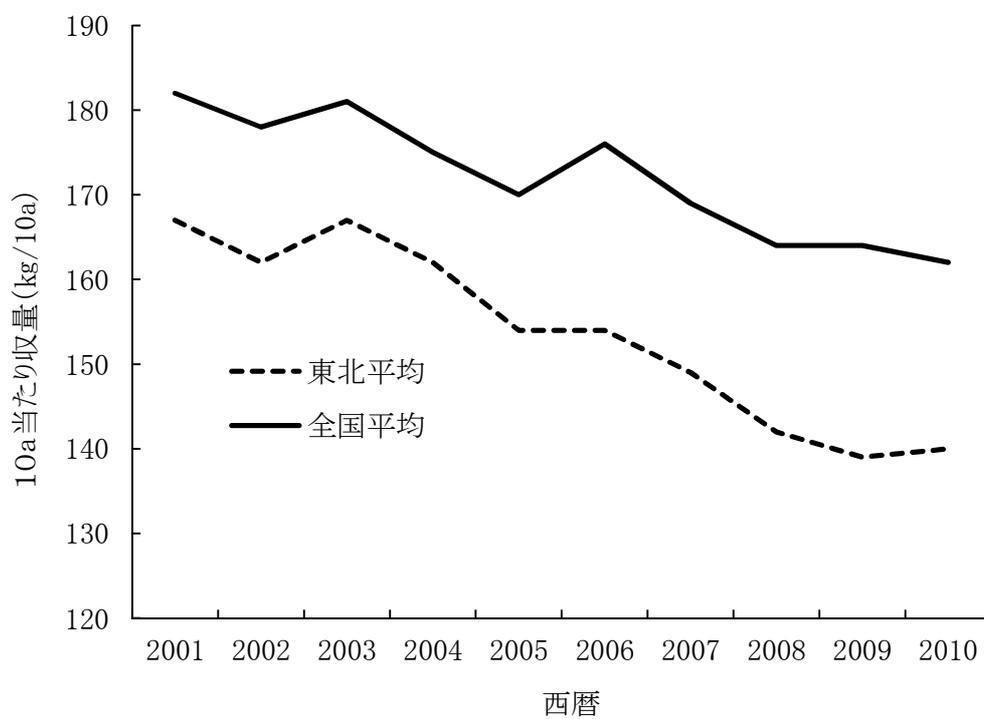


図1-2 全国と東北のダイズ収量の推移（農林水産省）

第 2 章 東北地方におけるダイズ収量と気象要因との関係

東北地方のダイズ作付面積は全国の約 25% を占め有数のダイズ産地となっているが、全国平均を上回る平年収量をあげている県はなく、年次間の収量変動も極めて大きい(持田 2009)。東北地方のダイズ収量が停滞あるいは地域によって減少傾向にあることは生産現場でも認識されており、その要因は複合的である(高橋ら 2014)。一方、ダイズ収量の年次変動は気象要因が主因であることが既往の研究から指摘されている。高橋ら(1990)は、東北地方の気象要素を用いた主成分分析から 6 つの地帯区分を行い、それぞれの地域のダイズ収量の変動の程度は気象要素によって説明できることを示している。持田(2009)は、平均気温、降水量および日照時間によってダイズの平均収量が大きく変動されることを指摘している。田村ら(1993)は、気象条件によってダイズの開花期前後の生育パターンが変動し、それに伴って収量が増減するとしている。松波ら(2013)は、夏期異常高温が東北地方のダイズの生育が収量に影響を及ぼしたことを指摘している。

このように、気象要因がダイズ収量に与える影響は大きいですが、既存の研究は東北全体あるいは各県単位に解析を加えたものであり、市町村単位においてどの気象要因が相対的に重要であるかを報告した事例はない。

また，日照時間，降水量，日平均気温を取り上げて解析したものは多いが，日最高気温，日最低気温を加えて解析をしたものはほとんどない．さらに地域間の収量変動程度によって地帯区分を行った研究は岩切(1976)の報告から30年以上報告事例がなく，近年の収量変動と気象要因との関係性を明らかにする必要性は大きい．

そこで本研究では，これまでの研究で欠落していた条件である気象要素(日最高気温，日最低気温)にも着目し，市町村単位に東北地方のダイズ収量の年次変動と地域変動を気象要因との関係から解析し，各地域のどの気象要因が収量に影響しているかを明らかにしようとした．また，近年の平均収量の推移から地域間と年次間の変動係数を求めてそれらを指標とした新たな地帯区分を作成し，東北地方における各地域の気象特徴に適応したダイズの安定多収化の方策に資する基礎知見を得ようとした．

第 1 節 収量と年次間変動

ダイズ収量の年次変動は気象要因が主因であることが既往の研究から指摘されている(高橋ら 2014)。過去の研究では高橋ら(1990)は、東北地方の気象要素と収量を用いた主成分分析から 6 つの地帯区分を行った。このように収量から地帯区分を行っている研究はあるが、収量変動から地帯区分を行った研究はない。そこで、本節では各県における収量の特徴を解析すると同時に収量変動を明らかにすることを目的とした。既存の研究と同様に収量から地帯区分を行うと同様に市町村ごとに変動係数を求めて、その変動の大きさにより地帯区分を行うことで既存の区分との比較を行った。さらに収量と変動係数にどのような関係があるかも合わせて検討した。

材料と方法

(1) 対象地域

対象地域は東北地方に位置する青森、秋田、岩手、山形、宮城、福島の 6 県とした。さらに各県から市町村当たり 100ha 以上のダイズ作付面積を有する 7 市町村を選択し解析の対象地域とした。福島はダイズ作付面積 100ha 以上の市町村が 6 つしかないので、調査数を 6 とし東北地方で 41 の市町村を調査対象とした(表 2-1)。

(2) 平均収量データ

過去のダイズ収量データとして農林水産省がホームページに開示している e - S T A T (政府統計の総合窓口) より 1993 年 (平成 5 年) から 2008 年 (平成 20 年) の 10 の当たりの収量データ 16 年間分を使用した。解析対象の市町村単位に 41 市町村を集計した。過去に市町村合併を行っている場合はデータを再集計し合併後の 10a 当たりの平均収量とした。

(3) 変動係数の計算方法

収量変動を明らかにするために、対象地域 41 箇所において 16 年間の平均収量から平均値と標準偏差を計算して変動係数を求めた。変動係数とは標準偏差の値を平均値の値で割ったもので、計算方法は以下の通りである。

変動係数 : C.V. 標準偏差 : $\sqrt{\sigma^2}$ 平均値 : \bar{x}

$$C.V. = \frac{\sqrt{\sigma^2}}{\bar{x}}$$

県単位及び市町村単位に年次間変動係数と地域間変動係数を求めた。

(4) 地帯区分 (平均収量, 年次間変動係数)

16 年間にわたる平均収量と年次間変動係数を求め、両者を考慮した地帯区分を行った。これは、東北地方の 16 年間の平均収量 147.6 kg/10a に対して東北地方の

16年間の平均収量から各市町村において5%以上の増減がある場合に地帯区分した。また，変動係数も同様に平均変動係数20.2から10%以上の増減がある場合に地帯区分を行った。

結果

東北各県の収量変動(1993年～2008年)を図2-1示す。16年間(1993～2008年)における県別収量の県間相関係数を表2-2に示す。

(1) 青森県

青森の平均収量は $146.8\text{kg}/10\text{a}$ で東北の中では3番目に多かった。平均収量が最も低い深浦は $138.9\text{kg}/10\text{a}$ ，最も高い十和田は $153.8\text{kg}/10\text{a}$ ，その差は 14.9kg で県内の収量に大きな差がなかった。秋田，岩手，山形と平均収量の相関が得られた。平均収量の最小値を見ると日本海側の $90\text{kg}/10\text{a}$ 前後に比べて太平洋側の地域は $50\text{kg}/10\text{a}$ 前後となり，太平洋側は収量のばらつきが大きくなった。

県内の平均変動係数は21.6%で東北の中で平均的な値となった。特に八戸，十和田，三戸の太平洋側の地域では年次間変動係数が28%前後と高い値を示した。弘前，五所川原，深浦の日本海側の地域では年次間変動係数が15%前後であった。このことから，青森はどの地域においても平均的な収量をあげることができる

が，日本海側に比べて太平洋側は年次収量にバラつきが大きい特徴が見られた。

(2) 秋田県

秋田の平均収量は $160.7\text{kg}/10\text{a}$ で東北地方において2番目に高い収量であった。平均収量が最も低い秋田市は $146.8\text{kg}/10\text{a}$ ，最も高い能代市は $166.8\text{kg}/10\text{a}$ であり，その差は 20kg であった。青森，山形と平均収量の相関が得られた。平均収量の最小値をみると，秋田北部の能代，大館，鹿角は $100\text{kg}/10\text{a}$ 前後であったが，秋田中部以南は $50\text{kg}/10\text{a}$ 以下であるために収量変動が大きい結果となった。

県内の平均変動係数は 24.7% になり山形に次いで高い値となった。秋田北部の年次間変動係数は 20% 前後だが，秋田中部以南は 30% 前後の高い数字で，秋田北部の方が安定していた。

(3) 山形県

山形の平均収量は $166.8\text{kg}/10\text{a}$ となり東北地方で最も高い収量となった。平均収量が最も低い山形市は $156.2\text{kg}/10\text{a}$ ，最も高い高畠は $172.9\text{kg}/10\text{a}$ ，その差は 16.7kg となった。青森，秋田，岩手との間に平均収量の相関が得られた。平均収量の最大値は山形市が $190\text{kg}/10\text{a}$ だが，その他市町村では $230\text{kg}/10\text{a}$ 前後の収量となり最小値，最大値ともに山形市が他地域とは異

なる値となった。

県内の平均変動係数は24.1%となり県内の年次間変動係数は大きかった。収量の変動係数をみると山形北部の酒田，鶴岡，新庄は26%と高く，山形南部の長井，高畠，米沢は23%と平均的な値となった。

(4)岩手県

岩手の平均収量は143.6kg/10aで東北地方において平均的な収量になった。平均収量が最も低い一関は106.7kg/10a，最も高い紫波は159.7kg/10aとなり，その差は53kgとなった。青森，秋田，山形，宮城との間に平均収量の相関が得られた。

県内の平均変動係数は18.8%となり，岩手北部の雫石，盛岡，紫波は12%前後と低く，岩手中部の北上，遠野は30%前後と高く，岩手南部の江刺，一関は18%前後と県内でも平均的な値となった。岩手中部が最も収量変動が大きく，北部と南部は変動が少なかった。

(5)宮城県

宮城の平均収量は132.5kg/10aとなり東北地方で最も低かった。平均収量が最も低い亘理は111.9kg/10a，最も高い石巻は181.4kg/10aその差は69.5kgとなり，平均収量の地域間差が最も大きい県となった。岩手，福島との間に平均収量の相関が得られた。平均収量の最小値はどの地域でも大きな差が認められなかった。

しかし、最大値は石巻、古川が $250\text{kg}/10\text{a}$ と他県でも見られないほどの高い収量をあげているが、他の地域は $140\text{kg}/10\text{a}$ が最大値で 100kg 以上の差となった。県内の平均変動係数は 16.5% となった。

(6) 福島県

福島の平均収量は $132.8\text{kg}/10\text{a}$ と東北でも低い収量となった。平均収量が最も低い相馬は $111.5\text{kg}/10\text{a}$ 、最も高い若松は $154.2\text{kg}/10\text{a}$ その差は 42.7kg となった。宮城との間に平均収量の相関が得られた。平均収量の最大値は会津若松が $234\text{kg}/10\text{a}$ と非常に高い値となり、他地域よりも $80\text{kg}/10\text{a}$ 前後の差が認められた。

県内の平均変動係数は 14.6% となり東北地方で最も低かった。変動係数をみると福島西部の喜多方、若松と福島東部の相馬は 20% 前後と高い値であったが、福島中部の福島、二本松、郡山は 10% 前後と東北全体からみても低い値になった。他県の場合、収量の変化は南北で分類されるが、福島だけは東西で分類された。

(7) 東北全体

図 2-2 に東北各県の市町村ごとの平均収量の変動を示す。図 2-3 に 16 年間 (1993~2008 年) 通算の県平均収量とその年次間変動との関係を示す。図 2-4 に市町村単位の 16 年間 (1993~2008 年) 通算のダイズ平均収量を基準にした東北地方の地帯区分を示す。

平均収量の低い順に宮城，福島，岩手，青森，秋田，山形となった。太平洋側（岩手，宮城，福島）よりも日本海側（山形，秋田）は約 20% 平均収量が高くなった。青森は太平洋側と日本海側があり平均収量は中間の値となった。平均収量で最も低い宮城 $132.5\text{kg}/10\text{a}$ と最も高い山形 $166.8\text{kg}/10\text{a}$ は $34.3\text{kg}/10\text{a}$ の収量差がでた。

図 2-5 に市町村単位の 16 年間通算のダイズ変動係数を基準にした東北地方の地帯区分を示す。変動係数は太平洋側が低く，日本海側が高い結果となった。太平洋側（岩手，宮城，福島）よりも日本海側（山形，秋田）の方が約 36% の変動係数が高くなった。また，南から北の地域につれ変動係数は高くなった。

図 2-3 から東北地方の平均収量と変動相関から収量の変動が大きい県ほど，平均収量も高いという相関が認められた。各県でも同様に検証した結果，宮城は負，秋田は正の相関が認められた。その他の県では相関が認められなかった。

(8) 地帯区分

収量水準を基準にすると東北地方は 7 つの地帯に区分できた。山形と秋田は $162\sim 182\text{kg}/10\text{a}$ で最も高収量に区分され，福島浜通りと宮城南部は $110\sim 118\text{kg}/10\text{a}$ の低収量に区分された。青森は $147\sim 155\text{kg}/10\text{a}$ になり東北地方の平均的な収量地帯に区分された。宮城北部と岩手南部の平均収量は $169\sim 175\text{kg}/10\text{a}$ となり太平洋

側で最も高い地域に分類された。県内の比較では宮城北部，岩手南部，山形南部が高い傾向となった。

市町村単位の年次間変動係数を基準に東北は9の地帯に区分することができた(図2-5)。日本海側は山形と秋田中部以南の変動係数が大きい。また，秋田北部と青森の日本海側は東北平均よりも低い変動係数になった。この区分から，県内でも地域によって収量変動の差異が認められた。

考察

県ごとの平均収量の変動は，秋田－山形，岩手－青森，宮城－福島間のように南北に位置する県間において正の相関が認められた。このことから，東北地方を分断する奥羽山脈を隔てて，太平洋側と日本海側それぞれに共通の収量変動要因の存在が示唆された。

太平洋側の平均収量は日本海側に比べて約20kg/10a程度低いことが分かった。太平洋側は北になるにつれて増収傾向となり，日本海側は北になると減収傾向になった。県単位で見ると福島は東西でわかれ，その他は南北によって収量変動が見られた。福島は沿岸部，平野部，山間部によって顕著な違いを確認できた。これには気象要因，土壌要因の違いが影響していると考えられる。

年次間変動係数をみると太平洋側が低く，日本海側が高く平均収量と同様となった。平均収量と年次間変

動係数に高い相関が認められ，収量が高い県は収量変動が大きく，収量が低い県は収量変動も小さい結果となった．平均収量の高い秋田，山形の日本海側は天候に恵まれやすく収量が高い分，悪天候の場合は減収割合が大きくなり，変動係数は大きくなるのに対し，岩手，宮城，福島のパ洋洋側はやませ，梅雨の影響から平均収量が低く，減収割合も少なく変動係数も小さくなると推察された．

また，日本全国の県別にイネとダイズの収量を比較した解析結果においては，両者には密接な相関関係が認められている（国分 2011）．このことから，イネとダイズの地域間収量差には生育期間における共通の気象要因の関与が示唆された．

東北地方各県の収量水準，およびその年次間・地域間変動の大小から，東北地域をいくつかの地帯に区分することが可能であった．第 1 に，太平洋側と日本海側とに大別され，さらに収量水準の違いから 7 つの地帯に区分できた．収量水準は太平洋側では北部ほど大きいのに対し，日本海側は南部の方が大きくなった．

変動係数を岩切（1976）の研究結果と比較すると，太平洋側は北になるほど変動係数が高くなるという結果は同様に得られたが，日本海側は北になるほど低くなり，岩切（1976）とは逆の結果となった．また，太平洋側よりも日本海側の方が低いという結果も逆になった．1954～1973 年の収量推移を解析した過去の研究結果で

は、県平均収量が太平洋側では $110\text{kg}/10\text{a}$ 、日本海側では $130\text{kg}/10\text{a}$ であり、その差は $20\text{kg}/10\text{a}$ であった(岩切 1976)。1993年～2008年のデータを解析した本研究においても、太平洋側 $140\text{kg}/10\text{a}$ に対し日本海側 $160\text{kg}/10\text{a}$ でその差は $20\text{kg}/10\text{a}$ であった。過去30年間、平均収量は太平洋側と日本海側のいずれにおいても約 $20\text{kg}/10\text{a}$ 向上したが、太平洋側と日本海側の約 $20\text{kg}/10\text{a}$ の収量差は過去の解析例と同程度であった。因みに東北地方の水稲収量も同様の傾向が認められ、太平洋側各県・地域(青森の南部・下北地方、岩手、宮城および福島の浜・中通り)と日本海側(青森の青森・津軽地方、秋田、山形および福島の会津地方)とでは10%以上の収量差が認められた(農林水産省 2014)。

市町村別収量の年次間変動係数の大小から東北地方を9区に分けることが可能であった。ダイズの栽培指針及び県奨励品種は県単位で、栽培指導は市町村単位で行っている。そのため、高橋ら(1990)や持田(2009)よりも詳細に地帯区分することで、その地域に適合したきめ細かな栽培対策が可能となろう。

第 2 節 収量と地域間変動

第 1 節では年次間変動係数と平均収量の影響を調査し、各地域の収量変動を明らかにした。本節では県内の地域間変動係数を解析し、1年間の地域間における収量差を明らかにし、地域間変動係数と収量との関係も明らかにした。

結果

図 2-6 に東北各県における平均収量の年次変動の推移を示す。図 2-7 に東北地方における平均収量の変動係数の推移を示す。図 2-8 に 16 年間（1993～2008 年）にわたる東北全体の単年度平均収量と各年における収量の県間変動との関係を示す。地域間変動係数の最も大きい年（2004 年）の東北全体の平均収量は $119.1\text{kg}/10\text{a}$ で 16 年間のうちでは 2 番目に低収であったのに対し、最も変動の小さい年（1997 年）の平均収量は $162.5\text{kg}/10\text{a}$ となり 5 番目に多収であった。このように、東北全体の平均収量と県間変動係数との間には負の相関関係が認められ、東北全体の平均収量が低い年は県間変動係数が高く、平均収量が高い年は県間変動係数が小さくなる傾向が認められた（図 2-8）。

(1) 青森県

平均収量が低い年は 2004 年の $104.0\text{kg}/10\text{a}$ 、高い年

は 2000 年の $180.0\text{kg}/10\text{a}$ となった。平均収量の差は $76.0\text{kg}/10\text{a}$ ，福島，宮城について年次間差が小さかった。平均収量が低い地域が多かった年は 1993 年，2003 年，高い地域が多かった年は 2000 年，1999 年であった。

変動係数をみると，高い年は 2004 年の 45.5%，最も低い年は 2000 年の 5.7% で平均収量と逆の年になった。平均収量と変動係数は負の相関（1% 有意）が認められた。東北地方の平均変動係数よりも高かった年は 1993 年，2002 年，2004 年，2005 年の 4 か年となった。この年代の収量をみると，1993 年，2004 年，2005 年の 3 か年は太平洋側の収量が日本海側に比べて極端に低い平均収量となった。2002 年は日本海側が太平洋側よりも低い平均収量となった。

(2) 秋田県

平均収量が低い年は 2004 年の $82.0\text{kg}/10\text{a}$ ，高い年は 2000 年の $207.9\text{kg}/10\text{a}$ となり青森と同じになった。平均収量の差は $125.9\text{kg}/10\text{a}$ で，山形に次いで年次間差が大きかった。平均収量が低い地域が多かった年は 2002 年，2004 年，高い地域が多かった年は 2000 年，1999 年となった。

変動係数をみると，高い年は 2004 年の 52.7%，最も低い年は 2000 年の 5.3% で平均収量と逆の年になった。平均収量と変動係数は負の相関（0.1% 有意）が認められた。東北地方の平均変動係数よりも高かった年は

1994年，2002年，2004年，2007年の4か年となった．この年代の収量をみると，1994年，2004年，2007年の3か年は秋田市と男鹿市の海沿いの平均収量が特に低い年であった．しかし，能代市は海沿いにも拘わらず，低い収量とはならなかった．

(3) 山形県

平均収量が低い年は2002年の86.4kg/10a，高い年は2001年の221.4kg/10aであった．平均収量の差は135.0kg/10aになり東北地方で年次間差が大きかった．平均収量が低収量の年は2002年，2006年，高収量の年は2001年，1996年，2000年であった．

変動係数をみると，高い年は2004年の38.2%，最も低い年は1993年の3.5%であった．平均変動係数は山形が最も低い値となり，平均収量と変動係数は負の相関(5%有意)が認められた．東北地方の平均変動係数よりも高かった年は2002年，2004年，2005年の3か年となった．この年代の収量をみると，2004年，2005年の2か年は鶴岡市，酒田市，新庄市の山形北部に位置する地域で収量が大幅に減少していた．2002年は鶴岡市と酒田市の海沿い地域以外の内陸部では大幅減収となった．

(4) 岩手県

平均収量が低い年は1993年の93.7kg/10a，高い年

は 2000 年の 178.6kg/10a になった。平均収量の差は 84.9kg/10a となり東北地方で平均的な値となった。平均収量が低い地域が多い年は 2004 年，1993 年，高い地域が多かった年は 2000 年，1996 年，2001 年であった。

変動係数をみると，最高は 1993 年の 24.4%，最低は 2000 年の 8.8% となり平均収量と逆の年になった。平均収量と変動係数は負の相関 (0.1% 有意) が認められた。岩手は東北地方の中で最も変動係数の差が少なかった。東北地方の平均変動係数よりも高かった年は 1993 年，1998 年，2003 年，2004 年，2007 年，2008 年の 6 か年となった。

(5) 宮城県

最も平均収量が低い年は 1993 年の 87.0kg/10a，最も高い年は 2000 年の 157.1kg/10a で岩手と同じであった。平均収量の差は 70.1kg/10a で，福島について年次間差が小さかった。平均収量が低い地域が多かった年は 2000 年，1998 年，高い地域が多かった年は 1996 年，2000 年であった。

変動係数をみると，高い年は 1998 年の 35.6%，最も低い年は 1993 年の 6.6% であった。平均収量と変動係数には相関関係が認められなかった。宮城の変動係数は東北地方の中で最も高い値となっている。東北地方の平均変動係数よりも高かった年は 1994 年，1995 年，1996 年，1998 年，2000 年，2002 年，2003 年，2004 年，

2005年，2006年，2007年の10か年となった。宮城はどの年代をみても県北部の収量が高い結果となった。

(6) 福島県

最も平均収量が低い年は2006年の102.7kg/10a，最も高い年は2001年の156.2kg/10aであった。平均収量の差は53.5kg/10aで，東北地方で最も年次間差が小さかった。平均収量が低い地域が多かった年は1993年，2006年，高い地域が多かった年は2000年，2001年，2005年であった。

変動係数をみると，高い年は2003年の31.3%，最も低い年は1995年の3.3%であった。東北地方の平均変動係数よりも高かった年は2000年，2003年，2004年，2005年の4か年となった。この年代の収量をみると，2000年は相馬市の収量が他の地域の半分程度となった。2003年，2004年，2005年は会津若松市で他の地域よりも多収となった。

(7) 東北全体

平均収量が低い年は1993年の115.7kg/10a，高い年は2000年の177.8kg/10aとなり，その収量差は62.1kg/10aであった。平均収量が低い地域が多かった年は1993年，2004年，2002年となり，青森と秋田は2004年に宮城と岩手は1993年に，山形は2002年に最も低かった。平均収量が高い地域が多かった年は2000

年，2001年，1996年となり，青森，秋田，岩手，宮城は2000年に山形，福島は2001年に最も低かった。

変動係数をみると，高い年は2000年の32.6%，最も低い年は1997年の10.0%であった。平均収量と変動係数には相関関係（5%有意）が認められた。しかし，地域ごとにみると青森は1%有意，秋田と岩手は0.1%有意，山形は5%有意となり，宮城と福島は有意差が認められず，東北南部よりも北部ほど相関が強くなった。平均収量が低い年ほど，地域の変動係数が大きくなった。東北地方の平均変動係数よりも高かった年は1994年，1998年，2002年，2003年，2004年，2005年，2007年の7か年となった。

考察

平均収量と県間変動係数とには負の相関が認められた（図2-8）。平均収量が増加する年は気象条件に恵まれている傾向が強く，収量は全体的に増収傾向となり地域の収量差が小さくなり，変動係数も小さくなったと考えられる。岩手の2005年を例として見てみると，平均収量は高い年で，盛岡市は154kg/10a，北上市は140kg/10aで地域間変動は小さい。しかし，平均収量が低い2004年は盛岡市が145kg，北上市は91kg/10aと地域間変動が大きくなる。そのため負の相関が認められたと考えられる。

さらに気象条件に恵まれない年は太平洋側と日本海

側で気象要因に大きな差がでる場合があり，海沿い，平野部，山沿いで天候は大きく変化し，各県の土壌要因や栽培要因によって減収程度に大きな差がでるために収量差は大きくなり，変動係数が大きくなると考えられる．

地域間差の場合は収量増加に伴い，変動係数も増加したので全く逆の結果となった．年によって平均収量が高い場合はどの地域でも高い収量を確保することが可能で，変動係数は大きくならないが，平均収量が低い場合は地域により栽培要因，気象要因，土壌要因が異なるために，収量の違いが発生し変動係数は大きくなると考えられる．しかし，この関係で有意な相関が認められるのは青森，秋田，岩手，山形の4県となり，宮城と福島は認められなかった．この2県は他県に比べても低収量のために，変動係数と平均収量の間に相関が認められなかったと考えられる．

第 3 節 収量と気象要因との関係

第 1 節，第 2 節からダイズ収量は市町村単位で異なり，気象要因の影響が大きいことが明らかになった。しかし，既存の研究は東北全体あるいは各県単位に解析を加えたものであり，市町村単位においてどの気象要因が相対的に重要であるかを報告した事例はない。また，日照時間，降水量，日平均気温を取り上げて解析したものが多いが，日最高気温，日最低気温を加えて解析をしたものはほとんどない。

そこで本節では，これまでの研究で欠落していた条件である気象要素（日最高気温，日最低気温）にも着目し，市町村単位に東北地方のダイズ収量の年次変動と地域変動を気象要因との関係から解析し，各地域のどの時期の気象要因が収量に影響しているかを明らかにしようとした。これにより，東北地方における各地域の気象特徴に適応したダイズの安定多収化の方策に資する基礎知見を得ようとした。

材料と方法

(1) 気象データ

過去の気象データとして気象庁がホームページに開示している各市町村に所属する気象観測所の気象庁アメダスデータ（過去の気象データ検索 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>）を解析した。

各市町村単位に 1993 年（平成 5 年）から 2008 年（平成 20 年）の 16 年分の 6 月～10 月における月降水量（mm），日平均気温（℃），日最高気温，日最低気温（℃），および日照時間（h）の月平均値を集計した。

(2) 平均収量と各気象要因の重回帰分析

各市町村単位で平均収量に影響を与える気象要因を明らかにするために重回帰分析を行った。1993 年～2008 年（16 年分）の 6 月～10 月における降水量（mm），日平均気温（℃），日最高気温（℃），日最低気温（℃）および日照時間（h）の気象データを説明変数とした。さらに，市町村単位で平均収量を目的変数として重回帰分析を行った。これらの解析には統計解析ソフト（JMP version 7.0.1，SAS Institute Japan）を用いた。

結果

(1) 青森県

降水量は 8 月に負の相関が認められ，特に鱒ヶ沢は高かった。気温は 6 月，7 月，8 月に正の相関が認められた。日照時間，日射量は 7 月と 8 月に正の相関が認められた。日本海側の地域では 7 月と 8 月の日照時間と日射量に相関が認められたが，太平洋側の地域では相関が認められなかった。気温は日本海側よりも太平洋側の方がより高い相関を示した。このことから，日本海側は日射量と日照時間，太平洋側は気温が収量に

影響を及ぼしていることが認められた。

(2) 秋 田 県

降水量は負の相関が認められ、特に8月は強かった。気温は8月に正の強い相関が認められた。秋田は開花期以降の好天が収量に影響を及ぼしやすい結果となった。日射量、日射時間は6月、9月に負の相関関係が認められ8月、10月に正の相関が認められた。10月の影響は大きく、好天になると登熟と適期刈取りが実施できるために増収になると考えられる。6月に好天に恵まれると、土壌乾燥が進み発芽率が均一にならず減少すると考えられる。また、9月も好天に恵まれると、ダイズ窒素供給量を大きく上回り、葉や茎のタンパク質が分解され最終的に登熟に影響して収量が低下すると考えられる。男鹿(海沿い)、鹿角(山沿い)横手(平野)においては相関が強く同様の傾向がみられた。

(3) 山 形 県

気温は相関が認められなかった。降水量では負の相関が認められた。日照時間と日射量は6月に負の相関、7月に正の相関が認められた。鶴岡、酒田、新庄では高い相関が認められた。10月の日照時間と日射量は特に収量への影響が大きく、好天に恵まれることで良好な登熟と適期刈取りが可能となり増収すると考えられる。秋田は6月と9月に日照時間と日射量で負の相関が認

められたが、山形は6月のみ負の相関が認められた。秋田、山形の関係から日本海側では6月に好天が続くと土壌乾燥になりやすく発芽不良を起し、減収する要因と考えられる。

山形では気温よりも日照時間・日射量の影響が大きい。秋田は気温と日射量・日照時間両方の相関が認められたことから、山形は気温に関わらず、好天に恵まれると増収傾向にある。

(4) 岩手県

降水量は負の相関が認められた。気温は7月、8月に強い正の相関が認められた。開花期以降の好天から収量が高くなると考えられる。日射量、日射時間は6月に負の相関、7月、8月、9月、10月に正の相関が認められた。特に10月の影響は大きく、好天だと登熟が進むこと、および適期収穫により結果的に増収になると考えられる。江刺は日照時間、日射量で、一関は降水量で強い相関が認められた。7月の気温の相関が高いが降水量は相関が低かった。7月と8月の気温が高いと生育成長が進み多収に影響すると考えられる。開花期前までに一定の生育を確保することが増収傾向になる。

(5) 宮城県

降水量は8月と9月に負の相関が認められた。気温は6月と7月に正の相関が認められ、特に気仙沼、丸

森では高い相関が認められた。日照時間と日射量は6月と7月に正の相関が認められた。このことから、発芽から開花域までに生育量を確保することが重要となる。その後、好天に恵まれたとしても収量の大幅な回復は認められなかった。8月と9月に降雨量が多くなるとさらに減収となった。宮城は梅雨とやませの気候条件があり、長雨の傾向が強い。そのため、7月に梅雨の影響が少なく好天に恵まれた年は増収傾向になると考えられる。

(6) 福島県

降水量は7月に負の相関が認められ、気温、日射量、日照時間は7月に正の相関が認められた。特に二本松は降水量と日射量は高い相関が得られた。福島は6月、8月、9月、10月の気象条件の相関が認められず、7月に全ての気象要因の相関が認められた。発芽から開花期までに好天が続くと収量は高くなりやすいことがわかる。福島、二本松、郡山の東北本線上にある地域では7月の気温、日照時間、日射量は高い相関が認められるが、盆地にある若松、喜多方は相関が認められなかった。傾向として、気温、日射量、日照時間は8月に好天に恵まれると収量が減少傾向になった。これは、日照時間と日射量が高すぎると気温も上がり、過度な光合成が行われ葉面のタンパク質の分解が起こり、着莢数の減少、登熟の減少につながり減収すると考えら

れる。

(7) 東北全体

41 市町村ごとに 16 年間にわたる収量と気象要因（降水量，平均気温，日最高気温，日最低気温，日照時間）との相関関係を改正し，有意な相関が認められた市町村数を算出して図 2-9 に示した。いずれの気象要因においても 7 月に 5% 水準で有意な相関を示す地点がもつとも多くみられた。気温に関わる要因は 8 月以降に季節が遅れるほど相関を示す地点数が少なくなった。降水量と日照時間は 8～10 月の長期にわたり収量と相関を示す地点が多く認められた。また，平均気温，日最高気温，日最低気温および日照時間は正の相関を示す地点が多く認められたのに対し，降水量では負の相関がみられる地点が多く，特に 7 月と 8 月において顕著であった。

収量と気象要因との関係をより詳細に市町村単位で把握するため，収量との単相関が有意となった気象要因を説明変数として選び，収量を目的変数として重回帰分析を行った。表 2-3 に各市町村における収量変動をもたらす月別気象要因を示す。偏回帰係数の大きい説明変数（気象要因）は地点によって多様であったが，県単位に大まかな傾向が窺えた。すなわち，気温に関する要因はいずれの県でも係数が大きかったが南北に位置する県でその影響は異なり，青森，岩手および宮

城では7,8月の気温に関する要因がプラスの影響を示す地点が多かったのに対し,山形と福島では気温に関する要因はマイナスの影響を示す地点がいくつか認められた。秋田では気温よりも日照時間が主要な要因である地点が多くみられた。降水量はいずれの県・月においてもプラスよりマイナスの影響を示す地点が多かった。

考察

41市町村ごとに16年間にわたる収量と気象要因(降水量,平均気温,日最高気温,日最低気温,日照時間)との相関関係の解析結果から,月別の気象要因がダイズの生育に及ぼす影響が推定できた。6月は播種から初期生育にあたる時期であるが,日照時間が大きいと収量が低下する地点が多かった。このことは秋田,岩手,宮城,山形で多く見られ,太平洋側と日本海側との間には差が認められなかった。その理由として播種後,晴天が続くことにより土壌水分が不足し,出芽不良が生じて低収に繋がったと考えられる。7月以降は開花,結実,莢伸長,肥大に至る時期で,気象変動の影響を生理的に大きく受ける時期である(岩切1976,鈴木ら1982)。ダイズの収量は開花期~子実肥大始期の物質生産量によって決定される(国分1988)が,東北の標準播種期では7~8月がこの時期に相当する。本研究では,日平均気温,日最高気温,日最低気温,日照時間が大

きいほど収量が多くなる地点が多くみられ、7月のこれらの気象要因は物質生産を促進することで収量増加にプラスに影響していることが推察された。6月、7月、8月は平均気温で相関が認められない場合でも日最高気温、日最低気温で相関が認められる市町村が存在する。そのため、今後その関係性も解析する必要がある。本研究では7月、8月の降水量は収量と負の相関を示す地点が多くみられることから、湿害が生じている地点が多いと推察される。一方、降水量は成熟期に相当する10月においても相関を示す地点は多くみられた。東北地域においてもダイズ作付けの大規模化が進んでおり、収穫は大型汎用コンバインで行うことが多い。高水分粒のコンバイン収穫ではシワや潰れ粒が多発するおそれがあり、そのことを避けるため、降雨が続いた場合には刈遅れとなり低収に繋がりやすい(内川・福島2003, 山口ら2003)。そのため、降水量は生育前期に加えて成熟期においても収量と負の相関が認められ、対照的に日照時間は正の相関が認められたと推定される。

上述のように、気象要因は7月に有意な地点が多くみられ、降水量は負の相関、その他の気象要因は正の相関を示す地点が多く認められた。8月以降は気温に関わる要因では季節が遅れるほど相関を示す地点数は少なくなかった。東北地域の標準的なダイズ生育期間を考慮すると、東北地域全体としては、生育前半における気温や日照時間がダイズの成長を促し、最終的に収量

を増加させていることを示唆する。一方，多雨は出芽時や生育初期の湿害に加え，収穫時期に降雨が続くと収穫遅れが生じ，大きな減収要因になっていることが窺える。

市町村単位に気象要因を説明変数，収量を目的変数として重回帰分析を行った。収量を規定する気象要因とその影響程度は地点によって多様であったが，県単位の大まかな傾向が窺えた。すなわち，気温に関する要因はいずれの県でも係数が大きかったが，南北でその影響は異なり，青森，岩手および宮城では7，8月の気温の要因がプラスの影響を示す地点が多かった。山形と福島では気温に関する要因はマイナスの影響を示す地点がいくつか認められた。図2-9の結果からも示唆されるように，東北全体としては夏期の高温年において生育が促進されて多収をもたらすが，このことは東北北部と南部では事情が異なり，平年においても夏期高温である山形と福島では高温年によって生育の機能低下が発生していると考えられる。松波ら(2013)は東北地方における夏期異常高温によって百粒重が著しく減少すること，莢数も減少することを明らかにしている。そのため今後詳細な解析が必要となる。秋田では気温よりも日照時間が主要な要因である地点が多くみられ，月や地点によって影響が分かれ，これら要因とは異なる，あるいは干ばつなどの関連する要因の影響が考えられた。降水量はいずれの県・月においても

生育初期にプラスよりマイナスの影響を示す地点が多いことから、湿害が起きていることを示唆する。

本研究では、県および市町村単位に収量水準と収量変動の両者を基準にして、東北地域をいくつかの地帯に区分することができた。また、市町村ごとに、収量に影響を与える気象要因を調査したが、地域によっては気象要因と収量の因果関係が明らかにならない場合があるため、品種、耕作期間の作業によっても収量に影響を及ぼす。今後は気象要因だけではなく総合的な解析が必要である。これらの解析の結果の精度をあげることで、それぞれの県・市町村の気象特性に適応した品種の選定や栽培技術を立てる指標として活用できよう。

表2-1 東北地方の各県別調査市町村一覧

県名	対象市町村名						
青森	弘前	八戸	五所川原	十和田	鱒ヶ沢	深浦	三戸
秋田	秋田	能代	横手	大館	男鹿	鹿角	五城目町
岩手	盛岡	北上	遠野	一関	江刺	雫石	紫波
山形	山形	米沢	鶴岡	酒田	新庄	長井	高畠
宮城	仙台	石巻	古川	気仙沼	白石	丸森	亶理
福島	福島	若松	郡山	喜多方	相馬	二本松	

表2-2 16年間（1993～2008年）における県別収量の県間相関係数

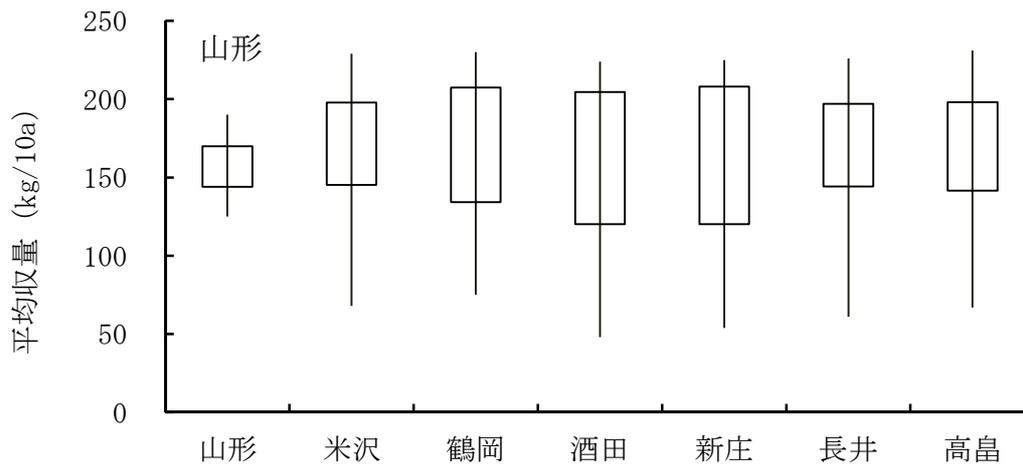
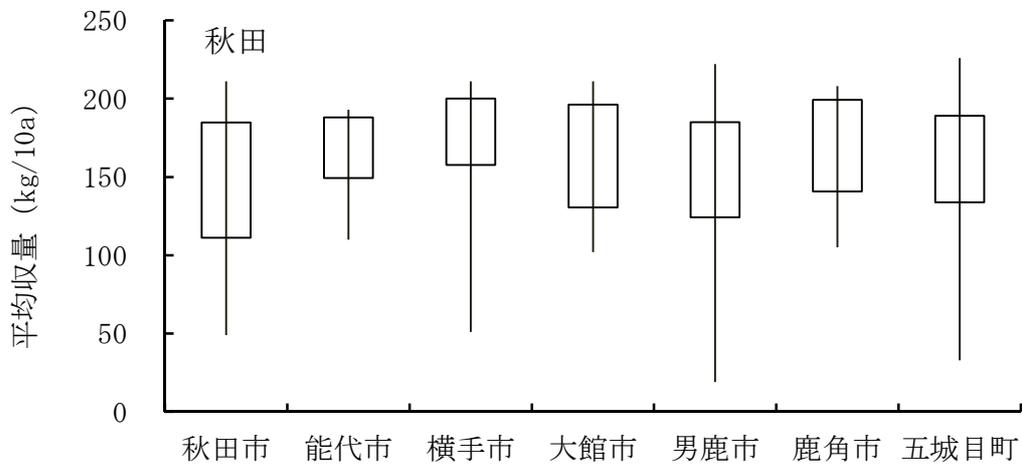
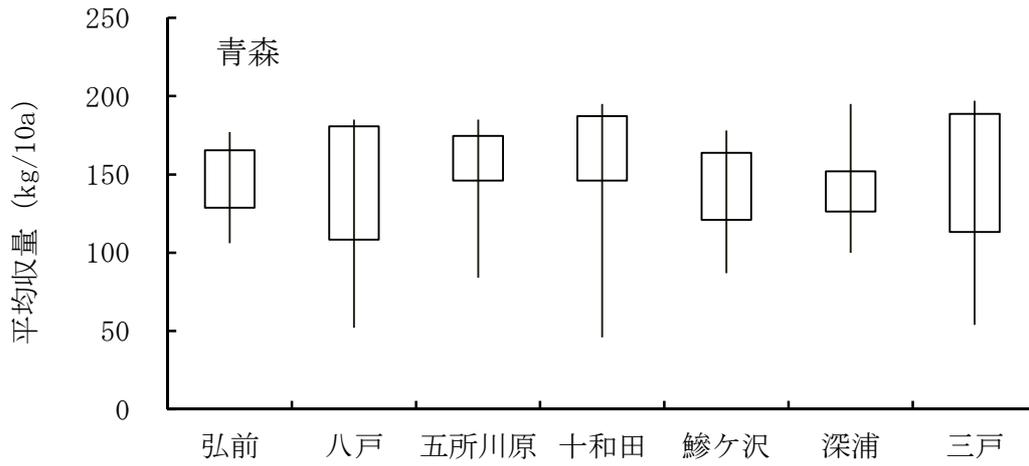
	青森	秋田	岩手	山形	宮城
秋田	0.70***	—	—	—	—
岩手	0.93***	0.71***	—	—	—
山形	0.69**	0.78***	0.63**	—	—
宮城	0.45	0.20	0.57*	0.34	—
福島	-0.09	-0.11	0.05	0.14	0.68**

*, **, ***; 5%, 1%, 0.1%水準で有意.

表2-3 各市町村における収量変動をもたらす月別気象要因

市町村	説明変数			決定係数 R ²	P 値
青森	弘前	平均気温7月(0.51)	日照時間7月(0.30) 降水量7月(-0.01)	0.49	0.040 *
	八戸	最低気温7月(0.60)	降水量7月(-0.03)	0.37	0.050 *
	五所川原	最高気温8月(0.39)	日照時間8月(0.22) 降水量8月(-0.21)	0.48	0.042 *
	十和田	最低気温7月(0.41)	最低気温8月(0.35)	0.39	0.040 *
	鱒ヶ沢	日照時間7月(0.56)	降水量8月(-0.47) 最低気温9月(0.05)	0.72	0.001 **
	深浦	降水量8月(-0.42)	最低気温7月(0.38) 降水量9月(0.36)	0.51	0.031 *
	三戸	最高気温7月(0.33)	最低気温8月(0.33)	0.28	0.110
秋田	秋田	日照時間8月(0.47)	日照時間10月(0.30) 降水量8月(-0.06)	0.43	0.070
	能代	降水量8月(-0.56)	最低気温8月(0.46) 日照時間8月(-0.25)	0.39	0.103
	横手	日照時間6月(-0.55)	降水量8月(-0.33)	0.47	0.014 *
	大館	日照時間9月(-0.42)	日照時間8月(0.30) 最低気温7月(0.28)	0.40	0.094
	男鹿	降水量9月(-0.51)	日照時間8月(0.40)	0.45	0.021 *
	鹿角	日照時間9月(-0.58)	日照時間10月(0.37) 降水量8月(-0.36)	0.75	<0.001 ***
	五城目	日照時間8月(0.37)	降水量8月(-0.15)	0.25	0.159
岩手	盛岡	最低気温7月(0.66)	日照時間10月(0.45) 降水量7月(-0.18)	0.64	0.006 **
	北上	最低気温7月(0.68)	日照時間10月(0.36) 降水量10月(-0.26)	0.69	0.002 **
	遠野	最低気温7月(0.71)	日照時間9月(-0.26) 降水量10月(-0.17)	0.67	0.003 **
	一関	降水量8月(-0.55)	降水量7月(-0.30) 最高気温8月(0.26)	0.64	0.006 **
	江刺	最高気温6月(-0.47)	日照時間7月(0.36) 降水量7月(-0.27)	0.53	0.025 *
	雫石	最低気温8月(0.56)	最低気温7月(0.40) 平均気温8月(-0.14)	0.44	0.063
	紫波	降水量9月(-0.68)	最低気温7月(0.43) 日照時間7月(0.11)	0.78	<0.001 ***
山形	山形	最低気温6月(0.99)	平均気温6月(-0.45) 日照時間7月(0.40)	0.50	0.035 *
	米沢	最低気温6月(0.40)	降水量10月(-0.39) 降水量7月(-0.14)	0.45	0.057
	鶴岡	降水量6月(-0.69)	降水量9月(-0.46) 最高気温6月(-0.09)	0.73	0.001 **
	酒田	降水量7月(-0.53)	日照時間6月(-0.31) 最高気温6月(-0.27)	0.63	0.006 **
	新庄	日照時間6月(-0.55)	降水量7月(-0.54) 降水量9月(-0.22)	0.74	<0.001 ***
	長井	降水量10月(-0.60)	日照時間9月(-0.47) 日照時間6月(-0.01)	0.65	0.004 **
	高島	日照時間7月(0.42)	降水量10月(-0.32) 日照時間10月(0.27)	0.45	0.059
宮城	仙台	最低気温6月(0.47)	降水量9月(-0.42)	0.39	0.040 *
	石巻	最高気温7月(0.52)	日照時間6月(-0.45) 降水量10月(-0.38)	0.61	0.008 **
	古川	平均気温7月(0.44)	日照時間7月(0.05)	0.23	0.186
	気仙沼	最高気温7月(0.61)	降水量8月(-0.33) 日照時間7月(0.20)	0.83	<0.001 ***
	白石	日照時間7月(0.46)	降水量9月(-0.43) 最高気温7月(0.22)	0.66	0.004 **
	丸森	降水量9月(-0.52)	日照時間7月(0.32) 最高気温7月(0.31)	0.63	0.006 **
	亘理	最低気温6月(0.56)	降水量9月(-0.53) 日照時間7月(0.43)	0.68	0.003 **
福島	福島	日照時間7月(0.69)	降水量7月(-0.34) 最高気温7月(-0.15)	0.54	0.021 *
	会津若松	最高気温10月(-0.42)	最高気温6月(0.28) 平均気温6月(0.15)	0.40	0.095
	郡山	降水量9月(-0.50)	平均気温7月(-0.48) 日照時間7月(0.21)	0.61	0.007 **
	喜多方	最高気温10月(-0.43)	降水量7月(-0.42)	0.38	0.047 *
	相馬	降水量7月(-0.38)	最低気温9月(-0.28) 平均気温9月(-0.11)	0.39	0.106
	二本松	日照時間7月(0.59)	降水量10月(-0.48) 降水量7月(-0.25)	0.81	<0.001 ***

41の市町村別に、16年間（1993～2008年）における収量と月別気象要因との単相関を求め、収量と有意な相関を示した月別気象要因を説明変数として選択し、重回帰分析を行った。月別気象要因の後の（）内数値は標準化偏回帰係数。*、**、***；5%、1%、0.1%水準で有意。



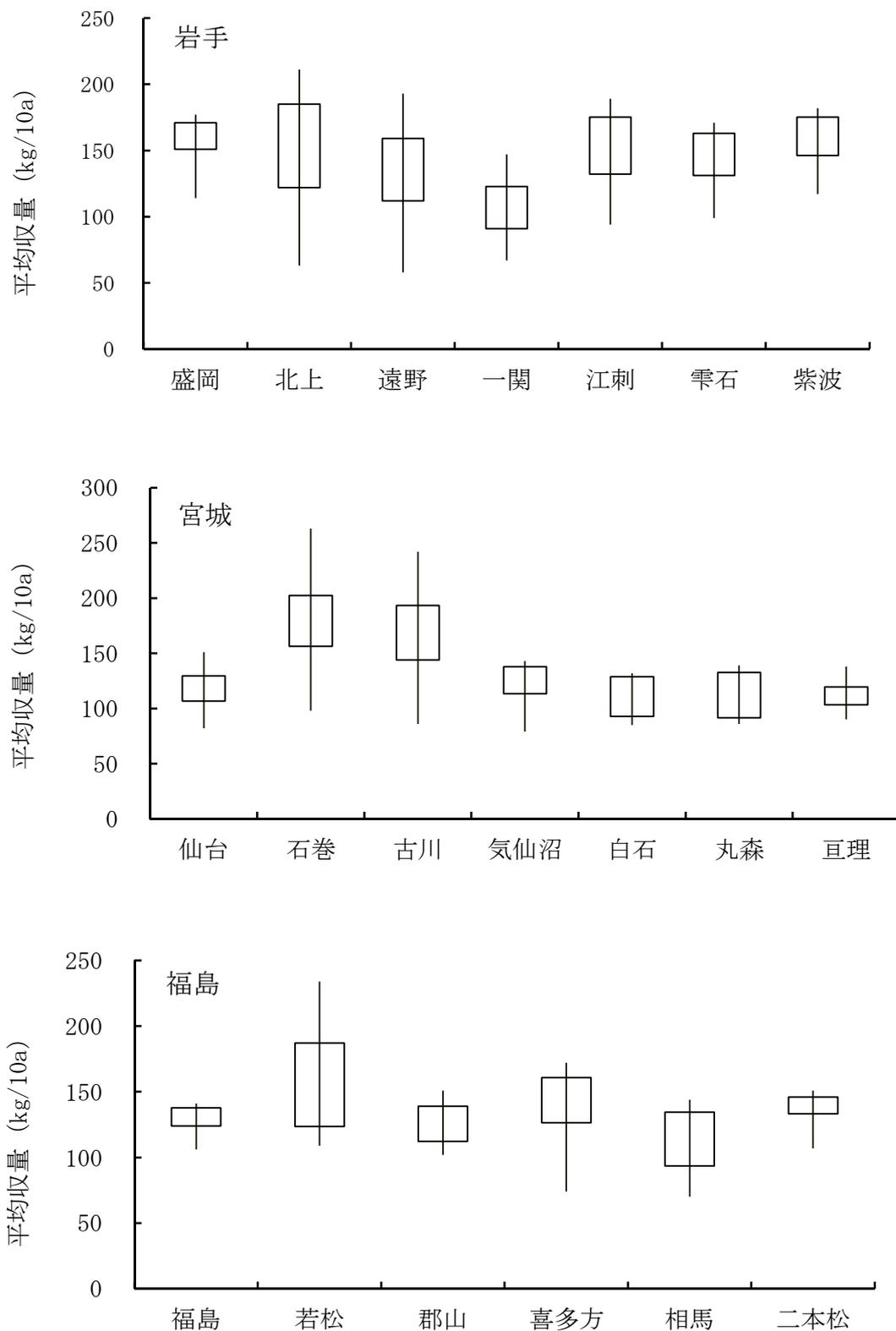


図2-1 東北各県の市町村ごとの平均収量の変動（1993年～2008年）
 箱が市町村単位の平均収量変動巾，縦線は最小と最大の市町村の収量。

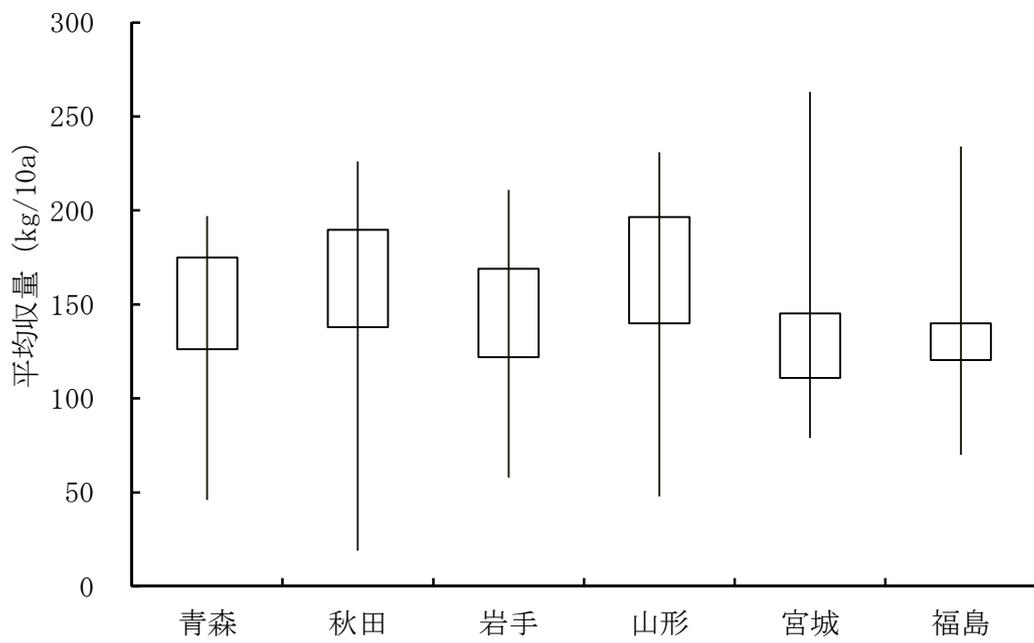


図2-2 東北各県の平均収量の変動（1993年～2008年）
 箱が県平均収量の変動巾，縦線は最小と最大の市町村の収量。

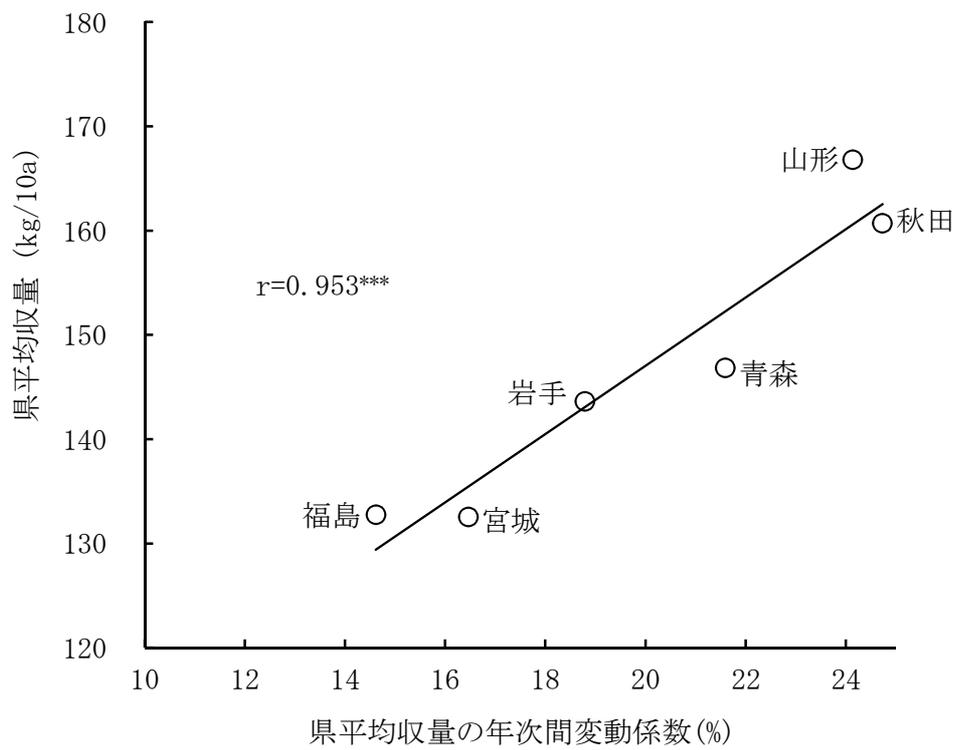


図2-3 16年間 (1993~2008年)通算の県平均収量とその年次間変動との関係
*** ; 0.1%水準で有意.

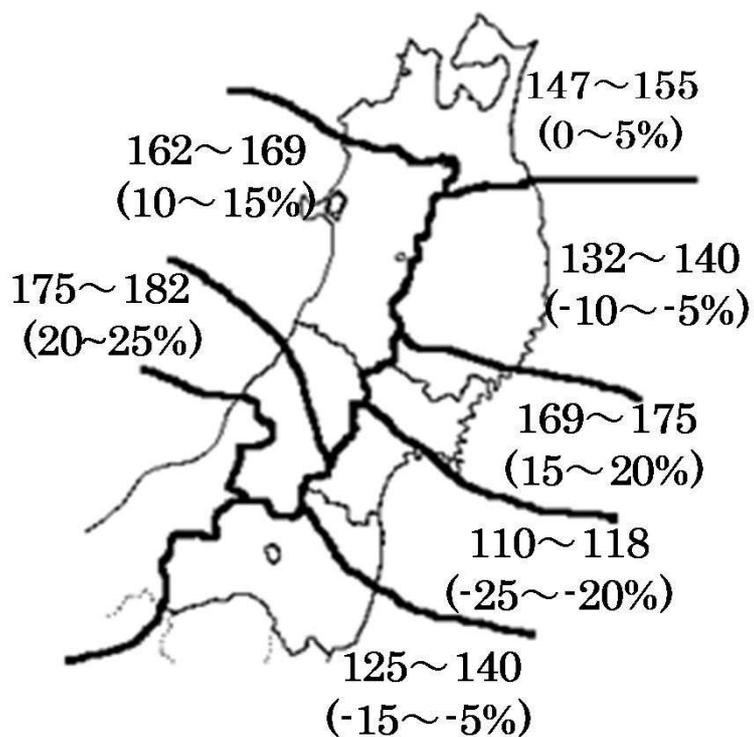


図2-4 市町村単位の16年間(1993~2008年)通算のダイズ平均収量を基準にした東北地方の地帯区分

上段は平均収量 (kg/10a), 下段は平均収量からの変動範囲%. 隣接する市町村間で平均収量が5%以上の差がある場合に区分した.

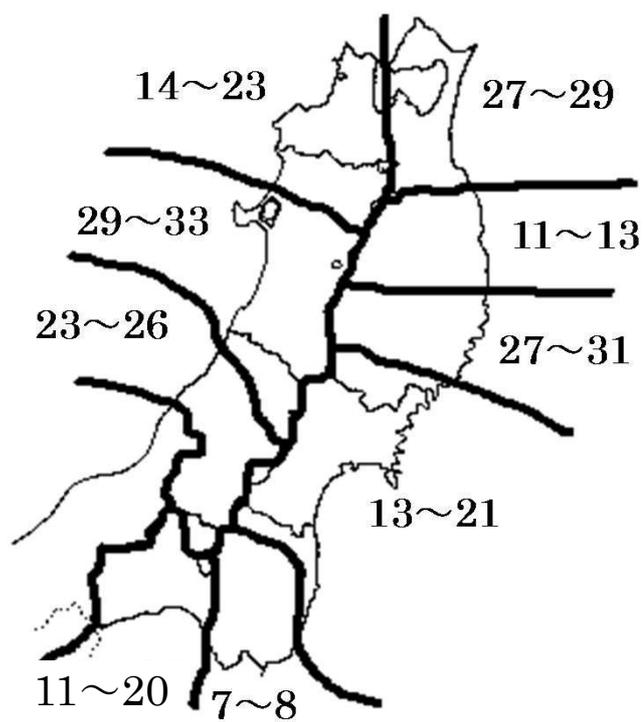
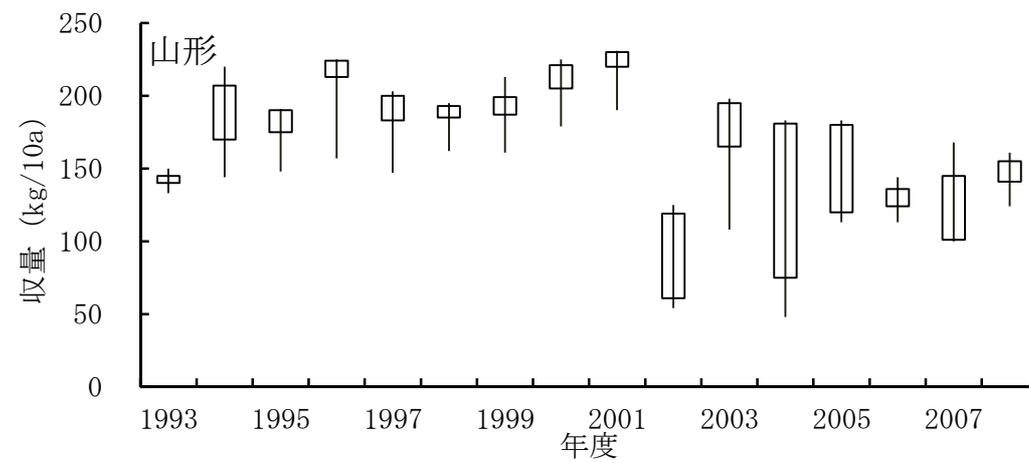
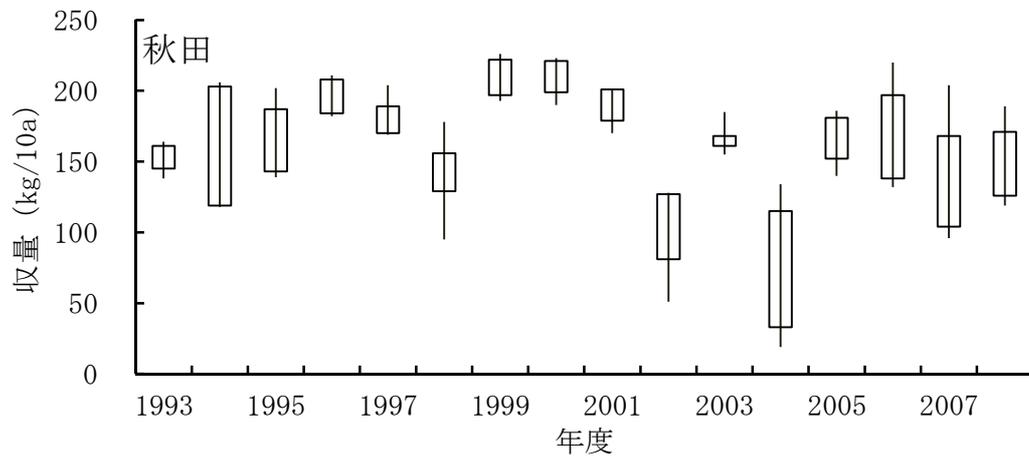
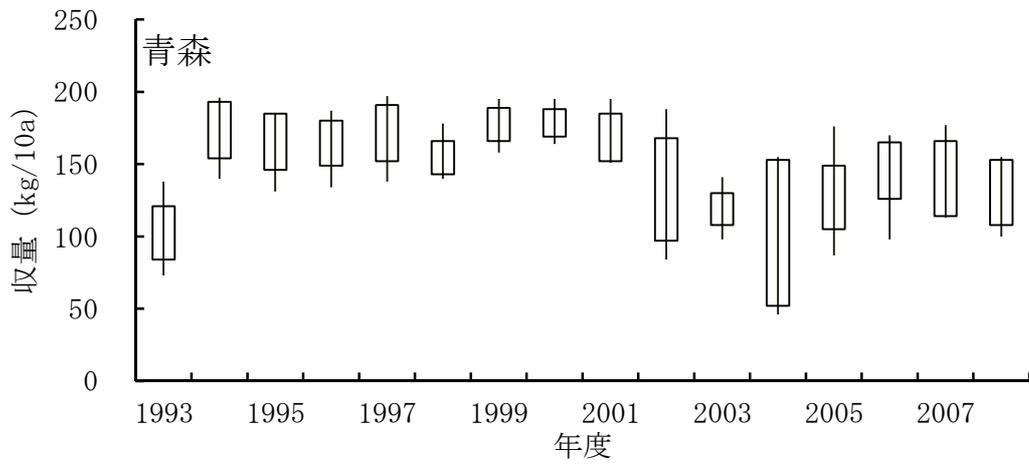


図2-5 市町村単位の16年間通算のダイズ平均収量の変動係数を基準にした東北地方の地帯区分
 数字は年次間変動係数の変動幅を示す。



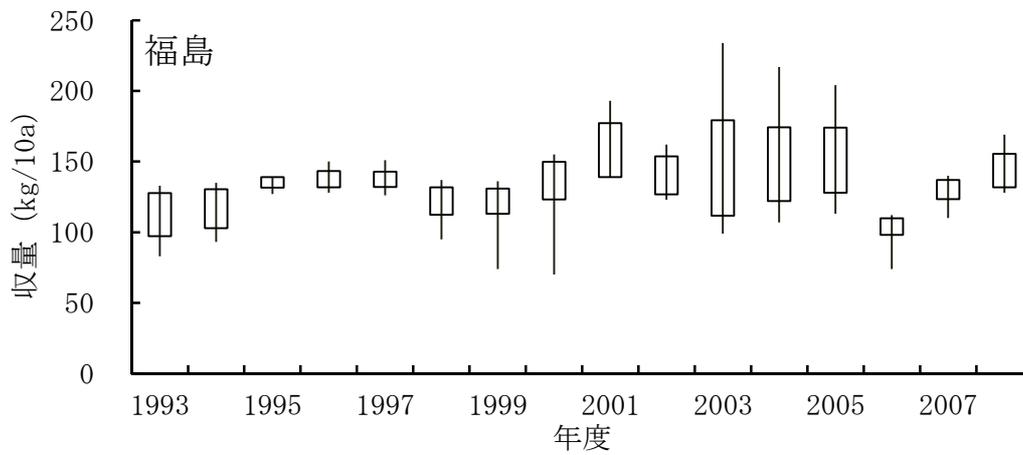
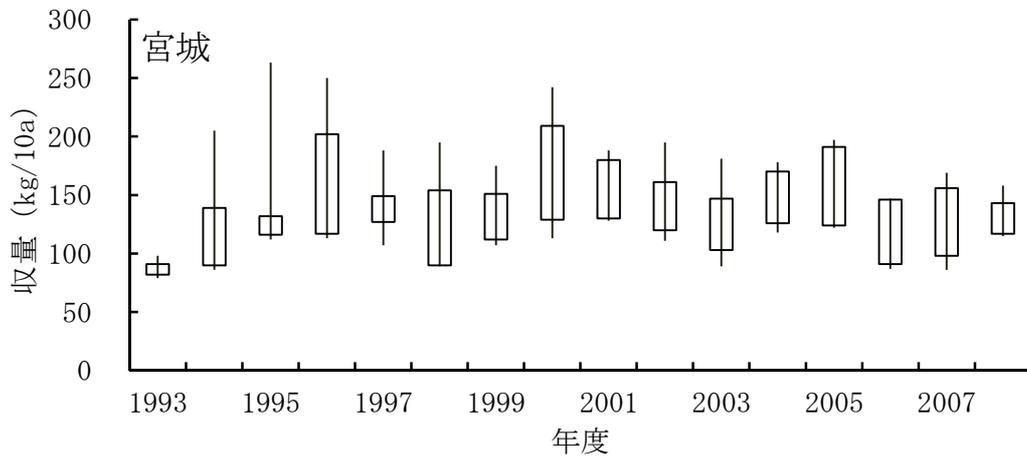
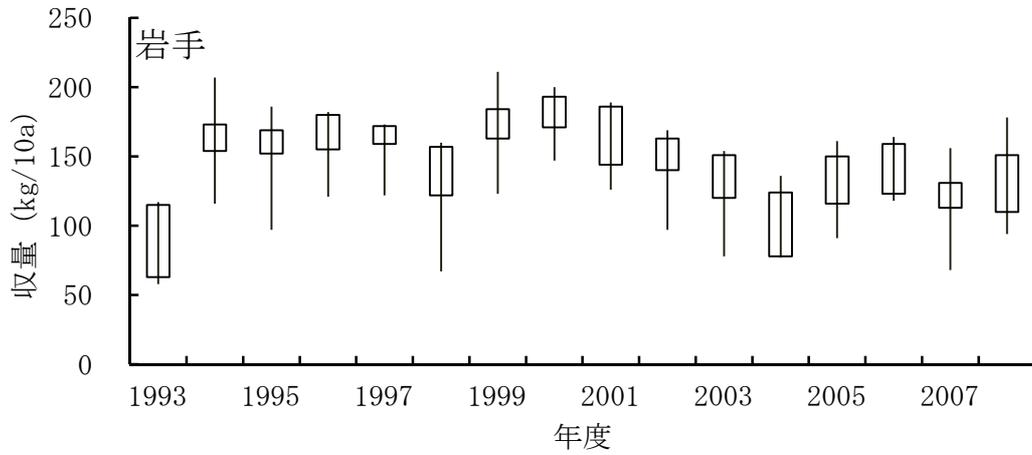


図2-6 東北各県における平均収量の年次変動の推移
箱が平均収量変動巾，縦線は最小と最大の市町村の収量。

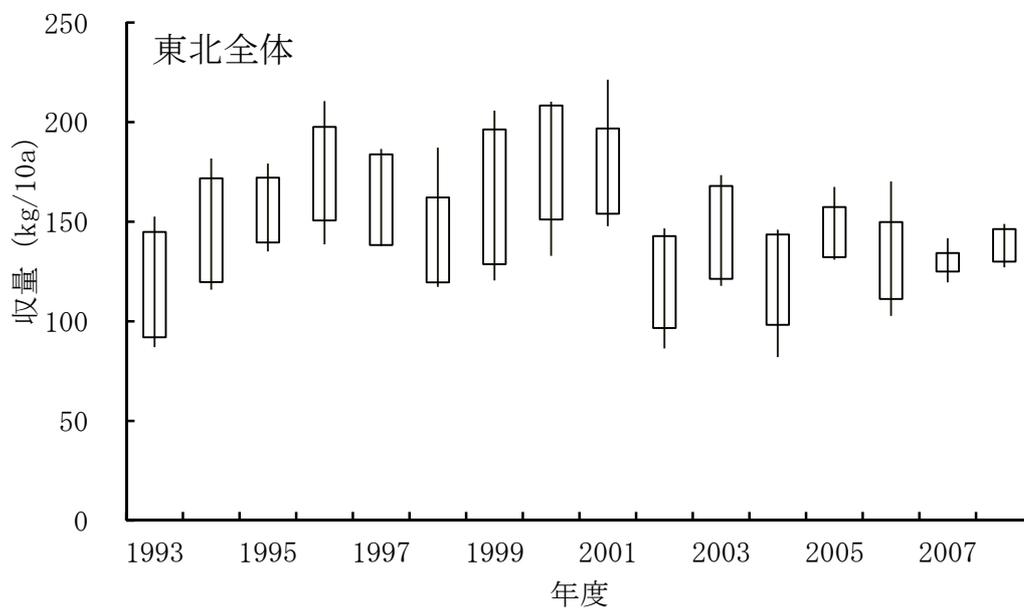


図2-7 東北地方における平均収量の変動係数の推移
箱が平均収量変動巾，縦線は最小と最大の市町村の収量.

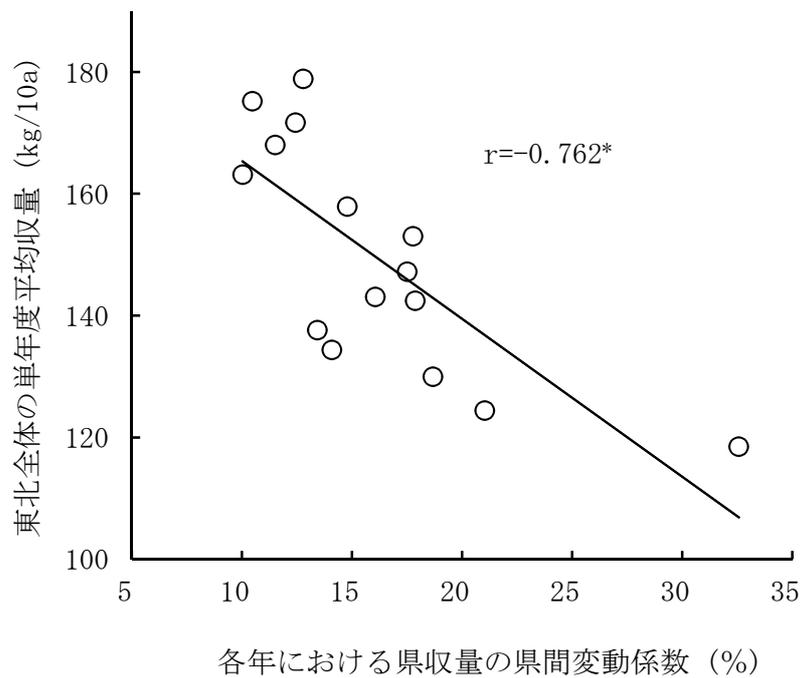


図2-8 16年間（1993～2008年）にわたる東北全体の単年度平均収量と各年における収量の県間変動との関係
 * ; 5%水準で有意.
 1993年は冷害による異常年のため算入しなかった.

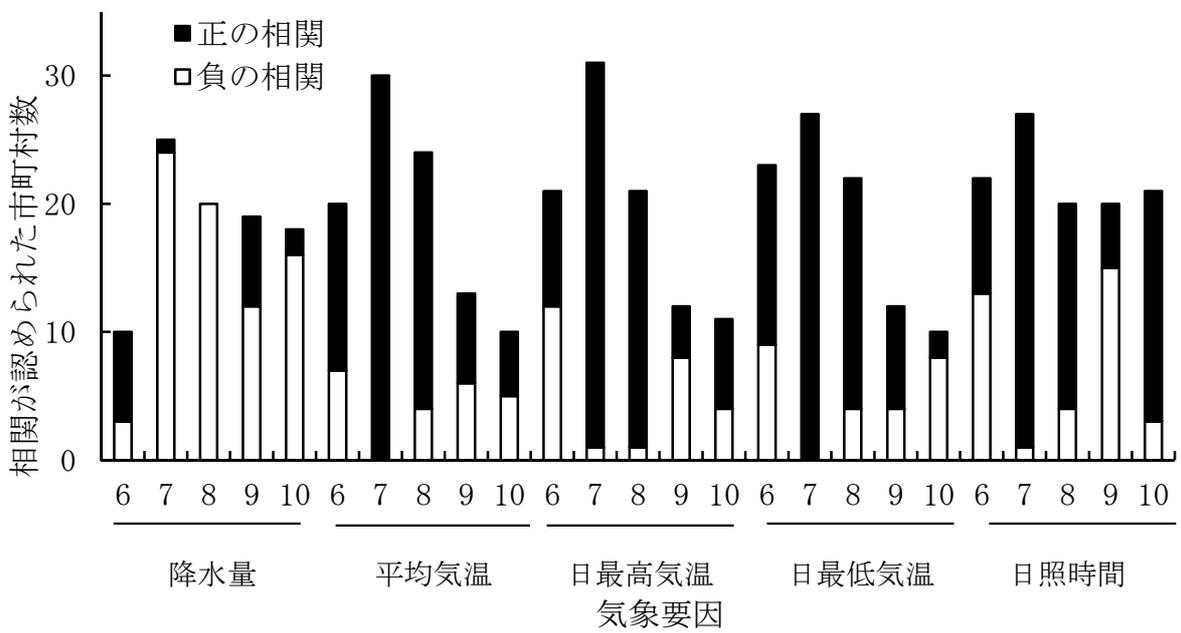


図2-9 市町村単位の収量と気象要因との関係
 41市町村ごとに、16年間における収量と月別気象要因との相関係数を求め、5%水準で有意な相関を示した市町村数を気象要因ごとに示した。

第 3 章 ダイズ多収生産者の多収要因の解析

第 2 章において，東北地方におけるダイズ収量は太平洋側と日本海側で大きく異なり，その要因として気象要因が影響していることが明らかになった．しかし調査した市町村の全ての地域で平均収量変動と気象要因は相関を得ることはできず，気象要因以外が影響している推定されることから，その他の要因にも目を向けて多目的な面から検証する必要がある．本章では土壌要因と栽培要因に着目し収量との関係を明らかにする．

土壌要因は養分，水分，構造，生物が考えられる．ダイズの特徴を考えると①多くの窒素が必要であること，②高い地力を必要とすること，③根粒菌と共生してその固定窒素を利用できること，④開花期には多くの水分を必要とすること等の特徴があり，多収には良好な土壌要因が必要となる．

栽培要因は，多収生産者は出芽を揃え良好な苗立ちを目標としている．そのために①明渠や暗渠を設置し排水性を向上させる，②播種同時に畝を立てることで排水性を向上させる，③畝の中心部分を不耕起状態にして土壌の乾燥と過湿を防ぐ，④耕耘を数回行い細かく碎土する，等の出芽率を確保するための多くの方法があり，多収生産者は地域にあわせた栽培要因を選択し，ダイズの生育に合わせて適期に行うことで多収を実現しているものと推測される．

ダイズは土壌要因と栽培要因が収量に与える影響は大きく、水稲に比べると生産性が低く安定しない作物とされている。しかし、全国豆類経営改善共励会における受賞者は250kg/10aを超える生産者が存在し、東北地方においても同様に多収を実現している生産者がいる。齋藤ら(2012)はダイズ多収事例の解析から、緯度、標高と単収の間には明確な関係はみられず、寒暖、高低いずれの地域からも多収事例がみられることを明らかにし、多収栽培には基本技術の励行が不可欠であることを指摘した。また、松波ら(2013)は多収事例の解析により高温・乾燥などが生産に与えている実態をいっそう明確にできるとしている。岩切(1976)は太平洋側より日本海側は約20kg/10aの増収が認められるとしている。しかし、太平洋側の多収生産者は日本海側の平均収量を上回る実績をあげているため、気象要因以外にも土壌要因と栽培要因によって多収を実現していると推測される。

以上のことから、多収生産者は気象要因の影響を抑えて多収を実現しており、調査対象を多収生産者にすることで土壌要因と栽培要因の収量への影響をより明確にすることができると推測される。しかし、これまで日本全体、一都道府県を対象とした多収生産者の研究は行われているが、東北地方を対象とした研究は行われていない。東北地方は全国でも有数のダイズ産地であり、日本海側と太平洋側では気象要因に大きな違

いがあることから，東北地方の多収要因を明らかにすることが重要と考えられる．

そこで本章では東北地方においてダイズ生産に関して表彰を受けている生産者を対象に，これら生産者の多収に寄与する土壌条件と栽培技術を明らかにしようとした．調査として東北地方で最も高い平均収量の山形及び最も低い平均収量の宮城それぞれの多収生産者とした．さらに近年では，ダイズの長期連作を行う生産者が多く，連作障害の影響から収量低下が懸念されているなかでも，生産者によっては年次間変動も少なく $250\text{ kg}/10\text{ a}$ を超える多収を上げている例も少なくない．多収生産者は播種してから土壌要因（水分，養分，構造，生物）が変化し続けるため，生育に合わせて中耕，施肥，除草，病虫害防除，水管理等の作業を行っている．多収生産者が着目している生育と栽培のポイントを抽出する必要がある，生育に応じた栽培要因の確認を行い土壌要因も同時に調査する．調査期間は決定せずに，播種前から収穫まで2週間おきに調査を行った．

第 1 節 対象生産者の立地・経営条件

ダイズ収量は気象要因によって影響を受けるが，その影響を最小限に抑えて多収を実現している生産者が存在する．その理由として，栽培技術や土壌条件が影響していると推察されるが，実態は明らかになっていない．そこで，本節では東北地方で最も高い平均収量の山形および最も低い平均収量の宮城の多収生産者を対象に調査を行った．奥羽山脈を隔て気候が大きく異なる両県で同様に多収を実現している生産者の立地や経営条件を明らかにすることを目的とした．

材料と方法

(1) 聞き取り調査

東北農政局から全国豆類経営改善共励会と東北大豆ピカイチ大賞に推薦・受賞され，多収かつ優良経営者の圃場を対象に行う．宮城，山形において表彰を受けている生産者（4 戸）と，農林水産省東北農政局から聞き取りしたダイズ多収実績のある生産者（3 戸）の計 7 戸を対象とした．項目は圃場位置，過去 3 年間の作付履歴，連輪作条件，平年収量，作付品種，栽植密度，土壌改良方法をアンケート形式で行った．同様に栽培方法は土壌改良，排水対策，中耕培土，雑草対策，病虫害防除の手法を聞き取った．多収生産者名は個人情報保護から実名ではなく，A～Gまでのアルファベット表記とし

た（表 3-1）。

（2）土 壤 調 査

2012年の施肥前に対象圃場から土壌をサンプリングし、理化学的特性を分析した。サンプリング方法は圃場前方、中央、後方の3箇所の表土15cmを取り除き、15～30cmの深さの土壌を採取し、土壌分析に供した。測定項目はpH(H₂O)、有効態リン酸、交換性加里、交換性苦土、交換性石灰、石灰飽和度、塩基飽和度、硝酸態窒素、アンモニア態窒素、リン酸吸収係数、CECの11項目とした。

結 果

表3-1に調査対象とした7戸の生産者の主要な栽培概要を示した。A～Cは山形、D～Gは宮城の生産者である。A～Cの山形の生産者は2章において175～182kg/10aの平均収量を実現している多収地域に属する。D～Gの生産者は太平洋側において最も多収地域に属する生産者である。全ての圃場で品種に関わらず250kg/10a以上の収量を確保しており、宮城と山形の平均収量154.3kg/10aおよび160.4kg/10a（農林水産省データによる平成5年～25年の平均）よりも90kg/10a以上の多収を実現していた。

ブロックローテーションを行っているのは3圃場で、連輪作は4圃場あった。その中でも圃場Aは10年以上

も連輪作を続けて平年収量 300kg/10a を確保していた。この圃場では土壌改良として鶏糞を使用していた。この生産者は鶏糞施用以外の土作りは行っていないが、収量は減らないとの回答があった。

多収生産者の栽培管理実施状況を全国平均値と比較して図 3-1 に示した。土壌改良，排水対策，中耕培土，雑草対策および病虫害防除の基本的な栽培技術の実施率は，全国平均では 55% から 85% の範囲に留まったのに対し，多収生産者では 100% であった。

多収生産者圃場の施肥前の土壌調査の結果を表 3-2 に示した。適正範囲と比較すると pH 及び交換性石灰は全ての圃場で低く，交換性加里は 5 つの圃場で高く，交換性苦土は全て高かった。有効態リン酸と石灰飽和度，塩基飽和度はブロックローテーションを行っている圃場 (C, E, F) で低かった。また，硝酸態窒素は圃場 D で低く，アンモニア態窒素は圃場 C 以外で低かった。

考察

圃場 A は 10 年以上継続して連作しているが，250kg/10a の多収を確保している。通常，ダイズ作付回数が増加とともに，土壌の全炭素含量，全窒素含量，可給態窒素含量および土壌気相率の低下等から，ダイズの生育量，子実重はともに低下すると指摘されている (小田原ら 2012)。連作による減収を防ぐ対策を聞取った結果，圃場 A, B, G では土壌改良のために鶏糞を

施用していた。ダイズ連作圃場では、化学肥料に比較し鶏糞施用により可給態窒素と可給態リン酸の低下を抑制できることが報告されている（岩手県北農業研究所 2011）。この報告では豚糞、牛糞、馬糞に比べて鶏糞の施用はダイズの生育促進効果が大きいとしている。連作を行っている複数の生産者は、「堆肥の中で鶏糞は費用対効果がもっとも高く、肥料分も多い」と述べていた。しかし、鶏糞のみの土作りだけで多収を確保することは難しいことも明らかであることから（浦山 2001）、鶏糞の効果は高いものの、その他の栽培技術によって収量を確保していることが考えられる。

土壌の理化学性の測定結果から、ブロックローテーションを行った圃場（C, E, F）では有効態リン酸、石灰飽和度、塩基飽和度が相対的に低かったが、これは前々作からの水稻作付やブロックローテーションに伴う肥料の溶脱が大かったことが推測される。そのために、肥料を投入することによって適正範囲になると考えられる。

これに対し、連作土壌（圃場 A, B, D, G）はブロックローテーションを行っている土壌に比較し適正範囲にあった。本研究では、連作圃場と田畑輪換圃場の土壌が異なるので、両者における土壌肥沃度の単純な比較は困難であるが、圃場 C, E, F では長期の輪換田における地力低下（住田ら 2005）を反映している可能性はあろう（図 3-3）。多収生産者間における 2012 年の収量と

土壌の化学性との関係を解析したが、関係性は認められなかった(表 3-2, 図 3-3)。今後、収量と土壌の物理性との関係も解析する必要がある。

第 2 節 多収生産者のダイズ生育経過

第 1 節では多収生産者の基本的な栽培条件を解析した。本節ではこれら生産者のダイズの生育調査と収量調査を行い、その生育特性を明らかにしようとした。また、最大繁茂期の葉面積と収量には高い正の相関があるとされている(島田・広川 1983)ことから、圃場の植被率を測定し、収量との関係を明らかにすることを目的とした。

材料と方法

7戸(表 3 - 1)の生産者を対象に、2012年と2013年の2年間、生育調査を行った。生育調査時に地表から1.5m以上の高さから俯角約70度の方向にデジタルカメラを向けて2条分を2か所撮影し、植被率の算出に使用した。画像ファイルはサイズを800×600ピクセル程度に落として撮影しJPEG形式にて記録を行い、画像解析ソフトImage jを用いて、緑葉による遮蔽部とそれ以外の部分を区分して、緑葉部面積割合を算出し植被率とした(義平ら2010)。

生育調査は1圃場(1生産者)当たり60本(20本×3反復)の草丈、主茎葉数(主茎の完全展開複葉数)および葉色を2週間おきに調査した。葉色は主茎の最上位完全展開葉を対象に、頂小葉の中助を除いた半葉の中央部を葉緑素計(SPAD-502, ミノルタ)を用いて測定した。成

熟期には10a当たり収量を坪刈りによって求めたほか、主茎長、主茎節数、分枝数、分枝節数を調査した。

結果

図3-2には、2012年と2013年における初期生育量の差が大きかった圃場Bの生育調査結果を示した。主茎長及び主茎葉数は7月7日から8月18日の間で急激に増加し9月1日で最大となった。葉色(SPAD値)は両年とも7月上旬に一時的に低下したが、その後少しずつ増加し、両年とも8月18日に最大となった。2013年は2012年に比べ、7月に主茎長と主茎葉数の増加に一時的な遅れが発生したが、8月中旬以降には両年の差はほとんどなくなった。

図3-3に2012年と2013年の調査圃場における収量を示した。圃場C、Gは2013年の収量が低かったが、その他の圃場は2013年の収量が高かった。圃場A、B、E、Fは350kg/10aを超える多収となった。

表3-3には調査圃場における収量と生育時期別形質との相関関係を示した。2012年、2013年ともに生育初期には有意な相関が認められないが、8月には相関が高くなり、それ以降になると相関が低くなる傾向を示した。主茎長と主茎葉数は両年とも8月18日の値と収量との間に有意な相関が認められた。

図3-4には圃場A、Eの植被率の計測写真を示した。2012年では8月18日に、2013年では8月10日に植被

率が 100% に達した。

表 3 - 4 に調査圃場における収量と成熟期の諸形質との相関を示した。収量は主茎長，分枝数および分枝節数と有意な相関が認められた。

考察

2 カ年の生育を比較すると，2013 年 7 月の主茎長，主茎葉数，葉色が 2012 年に比べて値が低かった（図 3 - 2）。これは山形において 2013 年 7 月に平年に比べ降雨量が 246%，日照時間が 57% であったために湿害と日照不足から生育を抑制した可能性が示唆される。しかし，その差は 8 月 18 日には解消していた。

圃場 B は雨水が溜まりやすいために，2013 年 7 月に明渠を掘り返し排水性の向上に努めていた。また，中耕培土は当初の 2 回実施予定を 3 回実施に増やすことで，株周辺の排水性を高め，雑草防除にも努めている実態が分かった。このような対応の結果，7 月にみられた生育遅れを 8 月には回復させることができたものと推察される（図 3 - 2）。

以上のように多収生産者はその年の気象変動に対応しながら管理作業の程度・内容を調節し，ダイズの生理的ストレスを緩和して適正な生育量を確保し，安定多収を実現していると考えられる。

各圃場の 2 カ年の収量を比較すると，2013 年の方が概して多収であった（図 3 - 3）。圃場 C, G の収量が 2013

年の方が低かった理由として、両圃場とも生育期に圃場滞水が観察されたことから、湿害の可能性が考えられる。

収量と主茎長との間には8月18日の値と高い相関が認められた(表3-3)。服部ら(2013)は、出芽から50日までの生育量の確保が多収に結びつくとしている。今回調査した生産者の播種が5月25日から6月10日であり、播種後63日から78日までの生育量確保が多収に結びついたと推定される。服部ら(2013)の供試品種は中生であるのに対し、今回の調査対象品種は中晩生のため、収量と相関を示す生育時期が遅い可能性が考えられる。

多収生産者は8月18日までに植被率が100%に達していた(図3-4)。宮城、山形の標準播種栽培においては、8月中旬は最大繁茂期に当たる。島田・広川(1983)は最大繁茂期の葉面積と収量には高い正の相関があるとしている。山崎・湯本(1997)は葉面積指数(LAI)と光合成有効放射(PAR)は品種間差があるものの収量と正の相関があるとしている。このことから多収生産者は基本技術を励行することによって適正な時期に植被率100%を確保し、多収に結びつけていることが推察される。

成熟期の諸形質と収量との関係を見ると、主茎長、分枝数および分枝節数が増加するほど多収につながったと考えられる(表3-4)。前述の考察とあわせると、

多収生産者は，生育中期までに十分な葉面積と生育量を確保することに留意し，収量構成要素の増加に結びつけていることが示唆される．東北地方のダイズ生産者を対象としたアンケートおよび現地調査の結果からも，排水対策や土壌肥沃度向上策を講じていない生産者ではダイズの生育量が不足し，低収にとどまっている状況が解析されている（高橋ら 2014）．

以上のように，山形，宮城の多収を実現している生産者は，基本的な栽培管理を 100% 実施したうえで，その年の気象の変化に対応して臨機応変に管理作業を工夫しながら実施している姿が明瞭になった．連作にもかかわらず多収を上げている要因は，鶏糞の効果が高いと考えられるが，その効果はさらに詳細な検討が必要である．また，播種から約 70 日で植被率 100% を確保することが重要であることが示唆されたが，より多収を目指す場合の適切な葉面積の推移とその栽培管理による調節は今後の研究課題である．島田ら（2012）は日本でもダイズ収量 $500\text{kg}/10\text{a}$ を得るポテンシャルがあるとしている．様々な好条件が揃わなければ達成できない数値であるが，多収生産者が持っている知見や技術を活用，普及することにより，生産者全体の収量水準を大幅に向上させることは可能であろう．

第 3 節 多収生産者の栽培技術

前節において多収生産者は一般的な作業を 100% 実施していることが明らかになった。本節では、多収生産者が独自に行っている栽培技術を明らかにする。通常、論文や栽培指針では明らかにされていない、いわゆる篤農の実態を明らかにしようとした。

材料と方法

前節で述べた対象生産者が抱えている問題点とそれらへの対応技術を抽出して、その効果を推定した。

結果

表 3-5 に多収生産者の圃場における特徴的な栽培技術を示す。

(1) 土づくり

生産者は転作田が固定化し連作による地力低下が懸念された。そこで、以前から果樹栽培で使用していた土づくりと肥料的効果が期待できる発酵鶏糞の利用を検討し使用した。また、大豆に化成肥料を施用すると根粒菌活性が不良になった経験があったため、春先に発酵鶏糞のみ施用し、化成肥料は施用しない施肥体系で栽培を行った。継続した土づくりの結果、根粒菌の活性が高まり、10年連作であっても化成肥料を施用せずに 300kg/10a 近い単収を維持していた。

堆肥センターから鶏糞，汚泥肥料，土壌改良資材等を施用し，土づくりを行っていた．各資材は全面積ではなく，独自に試験圃を設けて効果を確認しており，より効果の高い資材を選定するようにしていた．連作障害回避のために飼料用の大麦を栽培し，連作障害の軽減対策試験を行っていた．

ブロックローテーションによる大豆栽培の場合は前年まで稲わら等の鋤き込みが行われていた．土壌に有機物が連年投入されることでクラスト（降雨によってできる物理的な出芽の阻害となる地表面の硬い土膜）の発生防止による出芽の促進や地力増進による多収が実現されていた．

土作りは全ての多収生産者が実施しているが，長期連作を行っている生産者は醗酵鶏糞のみを使用していた．本章第1節において，土壌pHが基準範囲よりも低いことが明らかになったが，全ての生産者がpH矯正は実施していなかった．理由として，消石灰の費用を問題点としている生産者が多かった．消石灰を使うのであれば，他の薬剤を購入するという意見もあった．しかし，pHを適正範囲にすることがダイズ多収の基本的条件とされ，矯正により収量が3～4割向上する場合もあるとしている（大友2012）．しかし，ブロックローテーションを行っている生産者は次年度には土地を変換することから，効果がすぐに現れる化成肥料を使用することを望む傾向が認められた．また，長期連作を行

う生産者は鶏糞施用などによる土作りに費用をかけ、石灰施用による pH 矯正との効果を比較することで、pH 矯正の意義を軽んじていることがわかった。

(2) 排水対策

圃場を 10ha または 20ha 規模の連担団地とすることで、周辺水田からの浸水を防止していた。また、水稻隣接地にはトレンチャーによって額縁明渠を設置し、これを確実に排水路につなぎ対策としていた。明渠は、基本的に周囲全面ではなく、圃場の額縁に L 字型に設置し、弾丸暗渠によって本暗渠とつないでいた。明渠は主に用水路からの漏水を防ぐために設置するが、30～40cm と深く掘り、そこから弾丸暗渠を本暗渠に繋がるように作業方向に対して斜めに施工した。弾丸暗渠は細かく(約 2m 置きに)設置し、排水性の向上を図っていた。また、明渠は全面ではなく L 字型とすることで、明渠設置による作付面積の減少を最小限に抑えていた。ただし、周辺圃場が水田の場合や、極端に排水が悪い圃場の場合は、適宜明渠の設置方法を変えて(周囲全面にする等)排水向上に努めていた。明渠と弾丸暗渠、本暗渠を効果的に組み合わせることで十分な排水を確保しているため、周囲全面に明渠を設置し、排水溝を掘り下げて畦畔を切って排水する必要がなく、他の圃場地権者に対しても配慮していた。

生育期に入り出芽率が確保できた後には、圃場の排水に力をいれ必要がある。この時期から梅雨時期に入り、同時に太平洋側にはやませが吹き込み低温と降雨の影響から生育量の確保が難しく、早めの中耕培土を実施して排水対策を行うことが要求される。AとBの圃場では機械が入れないほどの降雨が発生した場合は、生育中のダイズを潰して明渠を作ることにより排水性向上を実現していた。

(3) 碎土率の向上

出芽の安定と除草剤の効果を高めるために、播種前に3回ロータリ耕を行い、碎土率を高めていた。さらに宮城の3人の生産者はアッパーローターによって土壌の碎土化を図っていた。この理由は二つ挙げられる。一つには碎土率を一定にすることによって播種深度を一定にして発芽率向上と一斉発芽を促すことである。二つ目は除草剤の土壌処理効果を向上させるためである。碎土率が低いと播種した種に覆土ができず、播種深度が一定にならない恐れがある。さらには土壌処理剤を散布しても表面に薬剤の皮膜を貼ることが難しく、効果を低減させる。これらのことから、宮城の生産者は碎土率を上げるために何回も機械による耕耘を行っていることがわかった。

特に、7月～8月に行う中耕培土は細かい土による雑草被覆ができるよう、作土上層部分の碎土層を厚くで

きるよう努めていた。圃場は水田転作圃場であり通常の耕起では土塊が大きく出芽や初期生育，除草剤の効果が劣るため，トラクタの超低速走行によるロータリ的高速回転耕起により，深耕と適正な碎土率の確保を図っていた。

冬季にプラウ耕とロータリ耕を行うことで，土壤の凍結と融解の繰り返しを利用した自然の力による碎土を行っていた。これら丁寧な碎土作業により，出芽率の確保と安定化，除草剤の効果向上に努めていた。

(4) 中耕培土

雑草対策，不定根増加，生育量確保，倒伏防止，停滞水排除を目的に中耕培土を3回実施する。大豆の開花前にかけて中耕培土を行い，初期発生した雑草の鋤き込みを行う。さらに，中耕培土直後に取り残した雑草に対しては，除草剤を茎葉処理することで雑草対策を行っている。また，ブロックローテーションによる大豆栽培であるため，圃場に発生する雑草はヒエ等のイネ科雑草であり除草剤の効果が高い。さらに，刈取りが行われる9月下旬までに残った雑草の抜き取りも行っている。これらの取組みが収量や品質の向上につながっている。

中耕培土を効果的に行うため，播種前の碎土を丁寧に行うことで，雑草を被覆する土を細かくし，培土による株間の除草効果を高めている。

(5) 高品質大豆生産への取組み

種子は全量を更新し、各品種が持つ生育特性に応じた最適な栽培管理を行うとともに、実需者から期待される品質と成分特性を確保した大豆子実の生産を行っていた。

全ての生産者は中耕培土や病害虫防除を行う場合は天気予報を事前に確認し、長期的な降雨が予想される場合には作業を前倒しして実施していた。同時に病害虫の多発の予想がある時は防除回数を予定よりも増やして対応していた。

AとBの生産者は生育期間中に雑草の発生が確認されると、中耕培土を実施し除草を行っていた。EとF及びGは除草剤を散布して、初期除草剤で防除できなかった雑草の処理を行っていた。C以外の全ての生産者は刈取り時期に入る前には生き残った雑草を手により抜いて圃場の外側に運んでいた。この理由として雑草の種を圃場の中に入れていないことと、抜き取った雑草がコンバインに入り込み、機械内部を汚すことで発生する汚粒出さないためであった。

全ての生産者の刈取りは茎・葉水分が20%以下になったことを確認して収穫を行う。乾燥調製は大豆クリーナー、色彩選別機、粒形選別機を使用し、品質の向上を図っている。これらにより大豆を適期に収穫し被害粒や汚損粒の除去を的確に行える体制が整い、検査等級も飛躍的に向上し、高品質大豆の生産に結びつけて

いた。

(6)省力化への取組み

基幹作業（耕起・整地，施肥，播種，薬剤散布，中耕培土，収穫，乾燥・調製）は作業部による一斉の機械化一貫体系で実施しており，圃場を連担団地としていることから移動時間が極めて少なく作業効率が向上し，省力化を実現している。圃場Dでは特に，病虫害防除には無人ヘリコプターを利用することで，大幅な省力化を実現している。その他の圃場でも無人ヘリコプターによる防除体型が多く確認された。

考察

多収には基本技術の励行が重要であることは多く指摘されているが，土壌条件や天候によっては作業が困難な場合がある。このような場合，多収生産者の多くは条件に対応した管理作業の実施に留意していることが聞き取り調査の結果から窺えた。例えば，梅雨が例年より早期に始まる予報の場合，中耕培土を1回しか実施できないことがあるが，あらかじめ高めに培土するなどの対応を取っているとの回答があった。また，初期除草剤の効果が低い場合は中耕培土を早めに行い，例年よりも雨が多く紫斑病の発生が懸念される場合は病虫害防除の回数を多くする対応を取っているとの説明があった。排水対策は調査対象4圃場（C，E，F，G）

で暗渠排水の設備があったが，ない場合には明渠を設置し排水対策を行っていた．このように，多収生産者は栽培管理の実施時期や方法を生育や天候に合わせてながら柔軟に行っている例が多かった．

特筆すべき点として，連作を行っている生産者全部で発酵鶏糞を使用していたことが注目される．発酵鶏糞は牛糞，豚糞，馬糞よりも窒素成分が高く，硝酸態窒素が豊富である（浦山 2001）．そのために連作圃場であっても多収に繋がっていると思われる．しかし，問題点としては連作を行うことで雑草の発生率が高くなることで，多収生産者も雑草発生を土壌処理剤で抑えることができないことを指摘していた．そのため，2回の中耕培土を3回にすることで雑草の発生を抑え，発生した場合には初期であれば手取りを行っていた．

生産者 D は中耕培土の土寄せを高くし，低節位からの分枝の発生を抑制するように努めていた．そのため，全体的に着莢位置は高くなり，コンバインで刈取りを行う場合に刈取りロスが減らすことができるという．刈取りロスはどの生産者も減収要因の一つとみなしており，低節位からの分枝抑制技術は多収技術の1つと考えられる．

多収生産者は常に圃場を確認することを心がけている．問題点を見つけた場合には速やかに対処・行動に移していた．この経験の積み重ねが，問題解決能力に繋がって多収栽培方法を確立していた．

表3-1 東北地方において多収をあげている生産者の主要な栽培概要

圃場 ¹⁾	圃場位置	過去3年間の作付履歴 (3作前 - 2作前 - 前作)	連輪作条件	平年収量 ²⁾ (kg/10a)	品種	栽植密度 (本/m ²)	土壌改良 (10a当り)
A	山形県河北町	大豆-大豆-大豆	13年連作	300	すずかおり	13.3	鶏糞100kg
B	山形県河北町	大豆-大豆-大豆	4年連作	300	里のほほえみ	13.3	鶏糞100kg
C	山形県天童市	水稲-水稲-大豆	ブロックローテーション	290	あやこがね	14.8	稲藁すき込み
D	宮城県登米町	ライムキ-大豆の二毛作	ライムキ-大豆の連作	250	タチナガハ	14.2	麦稈すき込み
E	宮城県大崎市	水稲-水稲-大豆	ブロックローテーション	300	タンレイ	13.3	堆肥1t
F	宮城県大崎市	水稲-水稲-大豆	ブロックローテーション	250	ミヤギシロメ	13.3	堆肥1t
G	宮城県大崎市	大豆-大豆-大豆	4年連作	260	タンレイ	13.3	鶏糞60kg

¹⁾ 圃場A, B, C, Dは農林水産省の全国豆類経営改善共励会の過去の受賞者. 圃場E, F, Gは農林水産省東北農政局の職員から聞取った多収実績のある生産者.

²⁾ 平年収量は2012年の調査を始める前に生産者から直接聞取りした収量.

C, E, Fの圃場はブロックローテーションのため調査圃場は異なる.

表3 - 2 多収生産者調査圃場の土壌分析結果 (2012年)

圃場	A	B	C	D	E	F	G	適正範囲
p H (H ₂ O)	5.2	5.2	4.7	5.5	4.9	5.2	5.1	5.6~6.0
有効態リン酸 (mg/100g)	20.3	19.4	9.8	15.9	7.5	7.2	14.2	10~30
交換性加里 (mg/100g)	23.7	20.1	41.1	44.8	35.5	40.5	59.8	15~30
交換性苦土 (mg/100g)	51.9	52.0	54.2	72.7	53.3	56.4	55.4	25~45
交換性石灰 (mg/100g)	212.2	239.2	299.0	343.4	243.1	247.8	347.5	390~586
石灰飽和度 (%)	45.1	54.5	39.8	53.5	37.6	38.4	49.6	40~60
塩基飽和度 (%)	63.5	73.7	56.5	73.3	51.2	58.0	65.6	60~80
硝酸態窒素 (mg/100g)	5.34	6.29	12.83	3.07	8.28	5.22	8.74	5~15
アンモニア態窒素 (mg/100g)	0.14	0.13	5.28	0.08	0.32	0.27	0.59	1~5
リン酸吸収係数	726.0	695.0	1075.5	922.0	872.0	770.5	946.0	1000以下
CEC (me/100g)	16.8	15.7	25.3	22.9	23.1	20.9	25.1	15~40

施肥前に土壌を採取. 適正範囲は日本土壌協会 (2011) による.
太字は適正範囲内

表3-3 多収生産者の圃場における収量と各調査日の生育諸形質との相関関係

年	形質	6月23日	7月7日	7月21日	8月4日	8月18日	9月1日	9月15日
2012	主茎長	0.029	0.280	0.292	0.524*	0.787**	0.420	0.192
	主茎葉数	0.007	0.186	0.191	0.310	0.539*	0.309	0.254
	葉色	0.000	0.184	0.316	0.159	0.056	0.133	0.031
2013	主茎長	0.304	0.514	0.308	-	0.518*	0.368	0.368
	主茎葉数	0.192	0.368	0.081	-	0.644*	0.399	0.399
	葉色	0.000	0.085	0.001	-	0.048	0.331	0.002

*, **; 5%, 1%水準で有意.

表3-4 多収生産者の圃場における収量と成熟期の諸形質との相関関係

形質	収量	主茎長	主茎節数	分枝数
主茎長	0.52*	—	—	—
主茎節数	0.40	0.90***	—	—
分枝数	0.67**	0.52*	0.35	—
分枝節数	0.72**	0.38	0.20	0.93***

*, **, ***; 5%, 1%, 0.1%水準で有意.

表3-5 多収生産者の圃場における特徴的な栽培技術

作業	問題点	多収生産者の技術
播種前	収量が取れない	堆肥として効果の高い鶏糞で土作りを行う
播種前	発芽率が悪い	ロータリーを2回、アッパーローターを2回行い、土の砕土率をあげる
播種	明渠・暗渠を行っても排水が悪い	畝立て同時播種機を利用する
播種	生育が悪く、植被率を100%に出来ない	播種機の畝間・株間を小さく設定し、播種量をあげる
播種後	土が乾燥し除草剤の効果が悪い	薄めに農薬を溶かし、大量の水分で土壌コーティングを行う
生育	降雨により圃場に滞水	生育期間中に明渠を追加で作り排水を行う
生育	生育が遅い	畝間に肥料を散布して中耕培土を行う
生育	降雨の予想により中耕培土の回数が減る	1回目の培土スピードを遅くして、高めに行う
防除	除草剤が効かず雑草が生える	生育初期にバサグランの畝間処理を行う
防除	生育が良すぎでブームスプレーヤーで薬剤散布ができない	無人ヘリコプターにより薬剤散布
防除	連作のために雑草が多くなった	中耕培土を通常よりも早期に行い、回数も3回行う
防除	降雨が多く、紫斑病などの病気の心配が発生	通常よりも防除回数を増やす
刈取	刈取途中に降雨が続く予報	収穫が終わるまで深夜まで刈取を行う
刈取	刈取ロスが多い	中耕培土を高めに行うことで、着莢位置を高くする

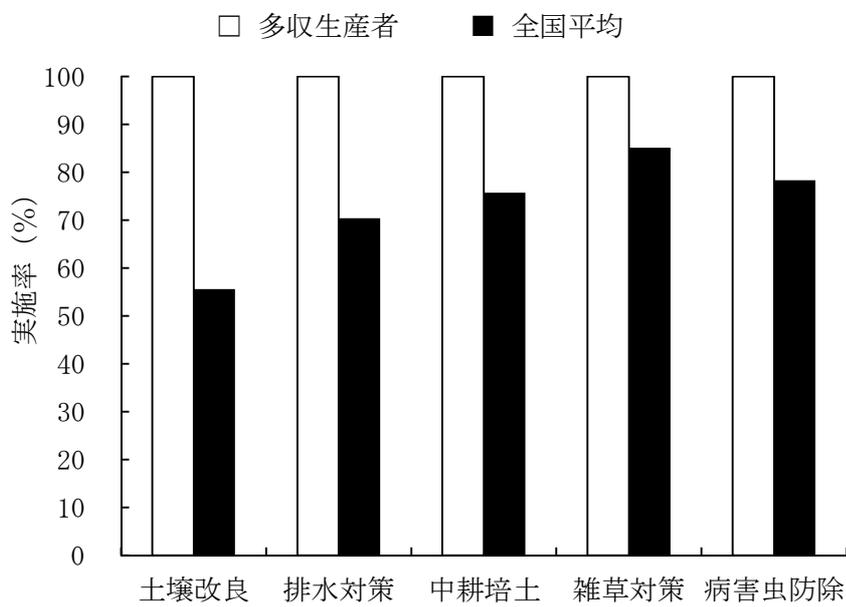


図3-1 多収生産者と全国平均の栽培管理実施率
 全国平均の実施率は10年間（1996～2005年）の平均値を示す。
 （農林水産省の統計資料より）

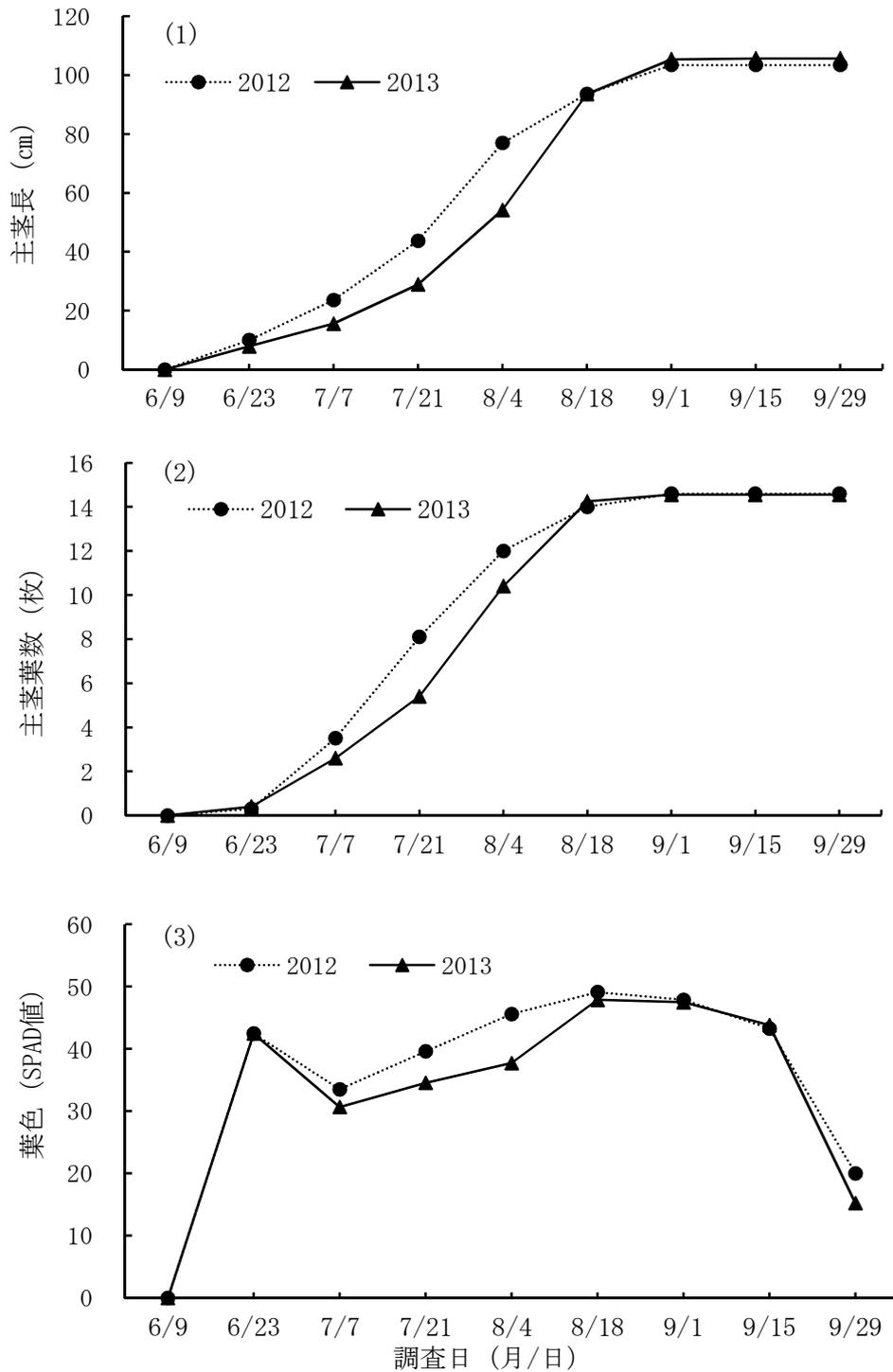


図3-2 圃場Bにおける主茎長(1), 主茎葉数(2)および葉色(3)の2カ年の比較

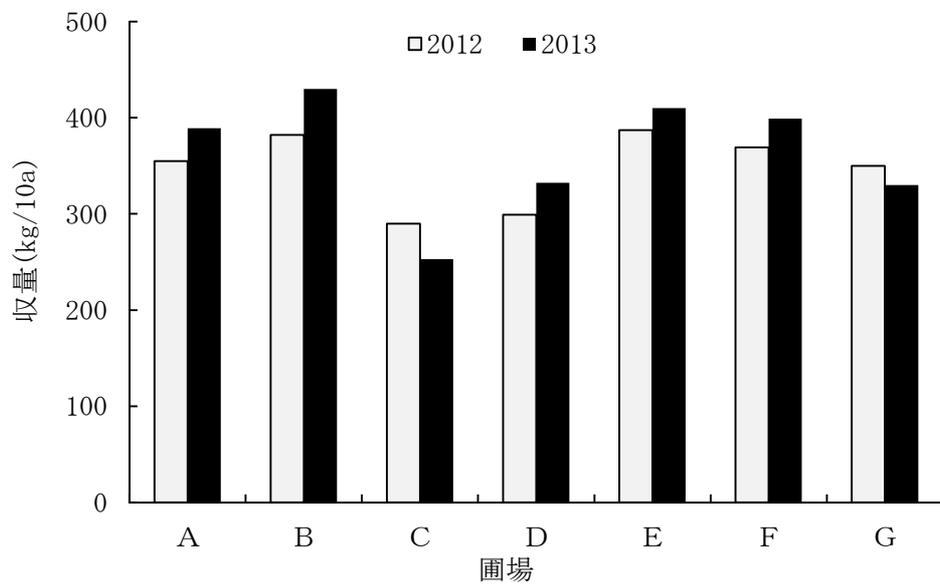


図3-3 多収生産者の圃場収量の2カ年の比較



2012年8月4日：植被率78%



2012年8月18日：植被率100%



2013年7月28日：植被率72%



2013年8月10日：植被率100%

図3-4 多収生産者圃場の植被率の計測写真
地上150cmの高さから70度の角度で撮影し、植被率を推定した。
上：圃場A，下：圃場E

第 4 章 総合考察

東北地方におけるダイズ収量と気象要因の関係

本研究の結果より，奥羽山脈を隔てて，太平洋側と日本海側それぞれに共通の収量変動要因の存在が示唆された．やませ，梅雨及びフェーン現象など様々な気象要因の違いがダイズの収量に影響しているためと推察される．日本海側と太平洋側では約 $20\text{kg}/10\text{a}$ の収量差が存在し，30 年以上前の岩切(1976)が指摘した収量差と同じである(図 2-4)．しかしこの間，東北全体で平均収量が $30\text{kg}/10\text{a}$ 増加していることから，品種改良や栽培技術の向上による効果と考えられる．太平洋側は北になるにつれて増収傾向となり，日本海側は北になると減収傾向になった(図 2-4)．この傾向は気象と土壌及び栽培方法の違いが影響していると考えられる．

年次間変動は太平洋側が小さく，日本海側は大きく，平均収量と同様となり，平均収量と年次間変動係数に高い相関が認められた(図 2-5)．平均収量の高い日本海側は天候に恵まれやすく収量が高い分，悪天候の場合は減収割合が大きくなり，変動係数は大きくなるのに対し，太平洋側は平均収量が低く，減収割合も少なく変動係数も小さくなるものと推察された．

平均収量が増加する年は晴天の日が多く，降雨が平年並みである気象条件であった．気象条件に恵まれないうちは太平洋側と日本海側で収量に大きな差が生じた．

これは海沿い，平野部，山沿いで天候は大きく異なり，各県の土壌要因や栽培要因によって減収程度に大きな差が発生し，変動が大きくなったと思われる．平均収量が高い年は全ての地域で収量を確保することが可能であるが，収量が低い年は栽培，気象及び土壌が異なるために，収量の違いが発生し変動が大きくなったと考えられる．この点から収量は気象要因に左右されるものの，栽培方法によって高い収量を維持できる可能性を示唆している．

各県の収量水準と収量変動からいくつかの地帯に区分ができた(図 2-4，図 2-5)．これは県境を基準にしておらず，山脈や平地等との地形に準じた地帯区分に近いことから，気象要因や土壌要因における収量差を示すものと判断される．現在，県単位によって栽培指針が作成されているが，地域によって気象要因や土壌要因が異なることから，市町村ごとに詳細な栽培指針を作ることが求められる．これを実践することにより指導者や生産者においてスムーズな栽培対策が可能となろう．

気象要因と収量の解析結果から，月別の気象要因がダイズの生育に及ぼす影響が推定できた(図 2-9)．

6月は東北地方の播種から初期生育にあたる時期で，日照時間が大きいと収量が低下する地点が多かった．それは，播種後，好天が続くと土壌水分が乾燥して，出芽不良が生じて低収量になったことが考えられる．

7月 は開花，結実，莢伸長・肥大に至る時期で，気象変動の影響を生理的に最も大きく受ける時期である（鈴木ら 1982）．ダイズの収量は開花期～子実肥大始期の物質生産量によって決定されるが（国分 1988），東北は7～8月がこの時期に相当する．本研究では，日平均気温，日最高気温，日最低気温，日照時間が大きいほど収量が多くなる地点が多くみられ，7月の気象要因は収量増加に大きく影響していることが明らかになった（図 2-9）．また，本研究では平均気温以外に日最高気温，日最低気温の影響を解析したが，平均気温では認められなかった場合でも最高気温と最低気温においては相関が認められる市町村が存在した．そのため，気象要因を用いた解析には今後，最高・最低気温もその影響を解析する必要がある．

7，8月は降水量が多いと湿害が生じている地点が多いと推察される．一方，ダイズは開花時期には大量の水分を必要とし，この時期に土壌乾燥が進むと減収に繋がるため，ある程度の降雨は必要だが，太平洋側のように梅雨が長引くと収量が低くなる傾向がみられた．

10月の収穫時期に過度の降雨があると汎用コンバインによる刈取りができない．高水分粒のコンバイン収穫ではシワや潰れ粒が多発するおそれがあり，それ避けるために刈遅れとなり低収に繋がりがやすい（内川・福島 2003）．10月の降水量は，収量への影響に加えコンバインの使用の可否に大きく影響する．

前述のように，東北の多くの地域において，7月の気象要因が収量に最も影響していることがわかった（図2-9）．東北地域の標準的なダイズの作期を考慮すると，東北地域全体としては，生育前半の気温や日照時間がダイズの成長を促し，最終的に収量の増加に繋がる．一方，多雨は出芽時や生育初期の湿害に加え，収穫時期に降雨が続くと収穫遅れが生じ，大きな減収要因になっていることが窺える．

41 市町村ごとに収量と気象要因の関係を解析した結果（表2-3），収量を規定する気象要因とその影響程度は地点によって多様であったが，県単位に大まかな傾向が窺えた．気温に関しては南北でその影響は異なり，青森，岩手および宮城では7，8月の気温が高いほど増収する地点が多かった．一方，山形と福島では気温が高いほど減収する地点が認められた．東北全体としては夏期の高温年において生育が促進されて多収をもたらすが，東北北部と南部では事情が異なり，平年においても夏期高温である山形と福島では高温年では生育の機能低下が発生していると考えられる．秋田では日照時間が主要な要因である地点が多くみられた．干ばつなどの関連する要因の影響が考えられ，降水量はいずれの県・月においても生育初期にプラスよりマイナスの影響を示す地点が多いことから，湿害が起きていることを示唆する．

地域によっては気象要因と収量の因果関係が不明瞭

であった。これには、土壌条件、品種、耕作期間の作業などの要因が収量に影響を及ぼすためであろう。今後、複数の要因の複合的な影響を把握することで、各県・各市町村の気象特性に適応した品種の選定や栽培技術を立てるための基礎知見として活用できよう。

ダイズ多収生産者の多収要因の解析

多収生産者は連作による減収を防ぐために鶏糞を施用していた(表 3-1)。ダイズ連作圃場では、化学肥料に比較し鶏糞施用により可給態窒素と可給態リン酸の低下を抑制できることが報告されている(岩手県北農業研究所 2011)。また、豚糞、牛糞、馬糞に比べて鶏糞の施用はダイズの生育促進効果が大きいとされている。連作とブロックローテーションを行っている土壌を比較したところ、連作圃場の方が適正範囲にあった(表 3-2)。しかし、鶏糞のみの土作りだけで多収を確保することは難しいことも明らかであることから、鶏糞の効果は高いものの、その他の栽培技術によって収量を確保していることが考えられる。pH は全ての圃場で適正值よりも低い結果となった(表 3-2)。pH はあ適正值にすることで適正範囲よりも低い場合よりも収量が 3 割～4 割程度の増収することが明らかになっている(大友 2012)。しかし、A・B・E・F・G の生産者は費用対効果が見込むことができないという理由で施用を行わずにいた。

2012年、2013年の2カ年にわたり多収生産者のダイズの生育調査を行った。その結果、最も特筆すべきこととして、気象に合わせた栽培技術の実施があげられる。例えば、雨水が溜まりやすい圃場には明渠を予め施し排水性の向上に努めていた。また、中耕培土は当初の2回実施予定を3回実施に増やすことで、株周辺の排水性を高め、雑草防除にも努めている実態が分かった(表3-5)。

気象条件によって生育の遅れが見られた場合には中耕培土の回数を増やし、いつもよりも培土を高めに行う、明渠を増加させる等の措置をして生育を回復させていた。この結果、梅雨時期の湿害の影響を8月には回復させて前年比とほぼ同程度の生育量を確保していた。このように、多収生産者はその年の気象の変動に対応しながら管理作業の程度・内容を調節し、ダイズの生理的ストレスを緩和して適正な生育量を確保し、安定多収を実現していると考えられる。

多収生産者は8月18日までに植被率が100%に達していた。宮城、山形の標準播種栽培においては、8月中旬は最大繁茂期に当たるが、島田・広川(1983)は最大繁茂期の葉面積と収量には高い正の相関があるとしている。山崎・湯本(1997)は品種間差があるものの、葉面積指数(LAI)と光合成有効放射(PAR)は収量と正の相関があるとしている。このことから多収生産者は基本技術を励行することによって適正な時期に植被率

100%を確保し，多収に結びつけていることが推察される．

成熟期の諸形質と収量との関係を見ると，主茎長，分枝数および分枝節数が増加するほど多収につながったと考えられる．前述の考察とあわせると，多収生産者は，生育中期までに十分な葉面積と生育量を確保することに留意し，収量構成要素の増加に結びつけていることが示唆される．

以上のように，山形，宮城の多収を実現している生産者は，基本的な栽培管理を100%実施したうえで，その年の気象の変化に対応して臨機応変に管理作業を工夫しながら実施していることが明らかになった．島田ら(2012)は日本でもダイズ収量500kg/10aを得るポテンシャルがあるとしている．様々な好条件が揃わなければ達成できない数値であるが，多収生産者が持っている知見や技術を活用，普及することにより，生産者全体の収量水準を大幅に向上させることは可能であろう．

多収には基本技術の励行が重要であることは多く指摘されているが，土壌条件や天候によっては作業が困難な場合がある．このような場合，多収生産者は栽培管理の実施時期や方法を生育や天候に合わせてながら柔軟に行っている例が多かった．さらに多収生産者は圃場に行く機会も多く常に生育を確認している．その中で問題点を見つけた場合には速やかに解決しようとする

動に移す。失敗することであっても、全てを経験として蓄積し活動のなかで自分の圃場に適した栽培方法を確立していた。新しい技術も積極的に取り入れている。様々なダイズ講習会へ積極的に参加し知識の修得に努めている。圃場の大規模化にも積極的で、機械化等を進めることで作業の効率化に取り組んでいた。全ての生産者はダイズだけに取り組んでいるわけではなく、果樹、稲作、園芸を行っており中には兼業農家も存在した。このような状況においても多収を実現している生産者には、常にダイズの知識を深めようとする積極的な姿勢が窺われ、このことが多収実現の原動力と言えよう。

摘要

第 1 章 緒論

近年，わが国のダイズ収量は他の主要作物に比べて年次増加率が低く，年次間変動が大きい．東北地方の平成 15 年から 25 年の平均収量 $136.4\text{kg}/10\text{a}$ は全国収量 $159.8\text{kg}/10\text{a}$ よりも低く，要因として気象要因と栽培要因があげられる．しかし，その条件下であっても毎年 $250\text{kg}/10\text{a}$ 以上の多収を実現する生産者がいる．

そこで，本研究では東北地方におけるダイズ産地を対象に過去の平均収量から年次間変動と地域間差を明らかにし，収量を規定する気象要因に関する解析を行った．さらに東北地方のダイズ生産で全国表彰を受けている多収生産者を対象に調査を行い，多収に寄与する栽培技術を明らかにしようとした．

第 2 章 東北地方におけるダイズ収量と気象要因との関係

本章では，東北地方におけるダイズ産地を対象に過去の平均収量から年次間変動と地域間差を明らかにし，気象要因と収量との関係を明らかにしようとした．

農林水産省の統計資料から，1993 年から 2008 年まで 16 年間分の県あるいは市町村単位のダイズ収量データを抽出した．対象地域はダイズ作付面積が 100ha 以上の市町村 41 を選んだ．地域間と年次間の収量の変動の大きさを各々地域間変動係数と年次間変動係数として

求め、収量水準と収量の変動程度から地域区分を試みた。平均収量と6月～10月の気象要因（降水量・平均気温・最高気温・最低気温・日照時間）との関係を解析した。

青森－岩手，秋田－山形，宮城－福島間のように南北に位置する各県の相関が高く，太平洋側と日本海側のそれぞれにおいて共通の収量変動要因の存在が示唆された。平均収量から7つの地帯区分が可能で，特徴として太平洋側よりも日本海側の平均収量が約20%高かった。年次間変動係数は太平洋側よりも日本海側が高く，9つに地帯区分ができた。既存の研究より詳細に地帯区分することができ，県ごとの平均収量と年次間変動係数には高い正の相関が認められた。これには東北を縦断する奥羽山脈を境に気象要因が異なるためと考えられ，日本海側は天候に恵まれた年次の収量が高い反面，不良天候では減収程度が大きくなるのに対し，太平洋側は平均収量の低位安定のためと考えられる。また，各県間の収量の相関を求めたところ，全地域の平均収量と年ごとの地域間変動係数には負の相関が認められた。平均収量が高い年は気象条件に恵まれているため，地域間の収量差は小さく地域間変動係数も小さくなると考えられる。気象条件に恵まれない年は海沿い，平野，山沿いで減収程度に大きな差がでるために地域間変動係数が大きくなると推察される。

平均収量と各月の気象要因との関係では，7月に有意な相関を示す地点が最も多くみられた。1993年の大冷

害の年は7月に降水量が多く、気温が低く、日照時間が短いため減収傾向となり、気象要因が収量に与える影響は大きい。各市町村に収量と各月の気象要因との重回帰分析を行ったところ、同一県でも市町村により収量に影響している気象要因は異なった。したがって、当該市町村の気象特徴に対応した収量向上策が必要である。

第3章 ダイズ多収生産者の多収要因の解析

本章ではダイズの多収を実現している山形（東北で最多収）と宮城（同最低収）の生産者を対象に調査を行い、多収に寄与する栽培技術を明らかにしようとした。

農林水産省が全国で表彰しているダイズ多収生産者と東北農政局から聞取りした多収実績のある生産者を対象に2012年と2013年の2年間に栽培方法に関して聞取調査、生育調査、収量調査、土壌調査を実施した。

多収生産者は品種に関わらず県平均収量よりも90kg/10a以上の多収を実現していた。ブロックローテーションを行っているのは3箇所、連作は4箇所である。中には10年以上連作を続けていても平年収量300kg/10aを確保している生産者もあった。連作圃場の3箇所では土壌改良として鶏糞を使用していた。その理由として化成肥料を施用すると根粒菌活性が不良になった経験があったためとの回答が得られた。

土壌成分に関しては、pH及び交換性石灰は全圃場で低く、交換性加里は5つの圃場で高く、交換性苦土は

全て高かった。有効態リン酸と石灰飽和度，塩基飽和度はブロックローテーションを行っている圃場で低かった。アンモニア態窒素は一つの圃場以外で低く，ブロックローテーションの圃場よりも鶏糞を使用している圃場の方が適正な土壤養分を有していた。

多収生産者は土壤改良，排水対策，中耕培土，雑草対策，病虫害防除の栽培管理を100%実施していた。

主茎長及び主茎葉数は7月7日から8月18日の間で急激に増加し9月1日で最大となった。葉色（SPAD値）は両年とも7月上旬に一時的に低下したが，その後少しずつ増加し，両年とも8月18日に最大となった。2013年では，主茎長と主茎葉数の増加に一時遅れが発生したが，8月中旬以降には両年の差はほとんどなくなった。7月から長期的な降雨が予想されたために，生育期間中に明渠を設置し，さらに中耕培土は通常の圃場よりも高めに土上げを行うことで排水性の向上に努めていた。

この他にも特徴的な栽培技術が多数見受けられたが，その多くが気象要因の影響に対応した栽培技術が多かった。特にダイズは湿害に弱い作物のためにその影響を最小限に抑える排水性向上の対策や，長雨が続く場合の対応策を講じていることが分かった。

第4章 総合考察

本研究の結果より平均収量は奥羽山脈を境に太平洋側と日本海側で大別され，9つの地帯区分が可能であっ

た．その収量に影響を与えているのはやませや梅雨及びフェーン現象による気象要因が生育に影響していると考えられる．さらに海沿い，平野部，山沿いでは地形による天候差を生じ，地域ごとの収量差を生む．特に7月の気象要因の影響が最も高く，降雨が少なく，気温が高く，日照時間が長いと多収になった．気象要因だけでは収量変動を全て説明できるわけではなく，土壌要因や栽培要因によっても収量差が生じていると思われる．

多収生産者は，地域の平均収量が低い年であっても250kg/10a以上を確保している．これら生産者の多収要因は気象の影響を最小限に抑える栽培技術の実施にあった．気象変動に対応しながら管理作業の程度・内容を調節することで，ダイズの生理的ストレスを緩和し，適正な生育量を確保し，安定多収を実現していると考えられる．

さらに多収生産者は圃場に行く機会も多く，常に生育を観察し問題があった場合は速やかに解決策を講じ，失敗することがあっても，経験として活かして自分の圃場に適した栽培方法を確立していた．また，ダイズの知識を身に付けようとする前向きな姿勢も重要と考えられる．

引用文献

気象庁アメダスデータ過去の気象データ検索.

<http://www.jma.go.jp/jam/index.html>.

有原丈二 2000. ダイズ安定多収の革新技術 新しい生育のとらえ方と栽培の基本. 農文協.

e-STAT (政府統計の総合窓口).

<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>.

岩切敏 1976. ダイズ収量の地域性に関する農業気候学的研究. 農業気象 32:5-10.

岩手県北農業研究所 2011. 発酵鶏ふんを利用した大豆栽培の連作による影響. 研究レポート.

内川修・福島祐助 2003. 大豆「サチユタカ」の茎水分からみたコンバイン収穫適期. 日本作物学会九州支部会報 69:56-57.

内島立郎・石黒忠之 1974. 北海道における農業気候指標の地理的分布に関する研究. 農業気候 30:123-129.

遠藤浩志・大野正博・丹治克男・境哲文・金子憲太郎 2004. ダイズ品種の収量およびイソフラボン含量に及ぼす播種期および登熟環境条件の影響. 日作紀 73:293-299.

浦山勝 2001. $\delta^{15}\text{N}$ を利用したダイズにおける窒素固定能の推定. 北海道大学大学院・技術報告 8:3-10.

- 大江和・上郷玲子・城さやか・倉橋崇之・齊藤邦行・黒田俊郎 2007. 気温上昇がダイズの開花結莢, 乾物生産と子実収量におよぼす影響. 日作紀 3: 433-444.
- 大友英嗣 2012. 大豆の安定生産のための土壌 pH 改良効果. 岩手県農業研究センター. 研究レポート No670.
- 国際連合食糧農業機関 (FAO) 2013. 世界食糧調査. <http://faostat.fao.org>.
- 国分牧衛 1988. 大豆の Ideotype の設計と検証. 東北農試研報 77: 77-142.
- 国分牧衛 2011. 新訂食用作物. 養賢堂.
- 小山隆光・佐々木紘一・鈴木光喜・宮川秀雄 1981. 遅播きに伴う大豆の生産力推移について. 東北農業研究 29: 117-118.
- 齊藤邦行・塩崎義隆・国分牧衛 2012. 我が国におけるダイズ多収事例の解析と収量ポテンシャル向上戦略. 日作紀 81: 390-391.
- 清水徹朗 2000. 大豆の需給動向と国産大豆振興の課題. 農林金融 10: 50 - 65.
- 島田信二・島村聡・住田弘一・堀江武 2012. 大豆単収世界記録 1081kg/10a の衝撃 - アメリカ合衆国の収量コンテストより -. 農業および園芸 87: 414-420.
- 島田信二・広川文彦 1983. 転換畑作大豆の乾物重, 葉面積の推移と子実収量. 日作紀中国支部研究集録 25: 37-38.

- 鈴木一男・三輪晋・亀倉寿 1982. 極晩播大豆の子実収量と諸形質との関係及び気象要因の影響について. 千葉農試研報 23:41-47.
- 住田弘一・加藤直人・西田瑞彦 2005. 田畑輪換の繰り返しや長期畑転換に伴う転作大豆の生産力低下と土壌肥沃度の変化. 東北農研報 103:39-52.
- 高橋栄一・畠山順三・鈴木光喜・宮川英雄 1981. 遅播きに伴う大豆の生産力推移について. 東北農業研究 29:117-118.
- 高橋智紀・持田秀之・榊原充隆 2014. 寒冷地における生産現場でのダイズ低収要因の解析. 東北農業研究センター研究報告 89:116-118.
- 高橋英博・持田秀之・執行盛之 1990. 東北地方における大豆の地帯区分. 東北農業研究 43:133-134.
- 田村有希博・上沢正志・高屋武彦・竹内誠 1993. ダイズ収量を最大とする乾物生産パターンの解析. 土肥誌 64:281-288.
- 日本土壌協会 2011. 土壌診断によるバランスのとれた土作り. (財)日本土壌協会. Vol.3
- 農林水産省 2014. 農林水産統計データ. <http://www.maff.go.jp/j/tokei/>
- 橋本鋼二 1980. 有機質肥料・有機物の施用. 大豆の生態と栽培技術. 農文協 127-128.

- 服部 誠・藤田 与一・南雲 芳文・佐藤 徹・高橋 能彦 2013.
北陸重粘土地帯におけるダイズ「エンレイ」を多収型生育に導くための栽培管理技術. 土肥誌 84: 58-61.
- 福井重郎・荒井正雄 1951. 日本に於ける大豆品種の生態学的研究. 育種学雑誌 1:27-39.
- 福井重郎・小島睦郎・渡辺 巖 1965. 大豆の子実生産に関する研究. 日作紀 34:432-436.
- 古谷義人 1950. 夜温の差が大豆の生育及び結実に及ぼす影響. 農業及び園芸 25:251-252.
- 平野幸二・大野康之・三浦重信 1988. 大豆早播栽培における収量停滞要因. 福岡農試研報 8:53-56.
- Hiler, E.A., Howell, T.A., Lewis, R.B. and Boos, R.P. 1974. Irrigation timing by the stress day index method. Transact. ASAE 17:393-398.
- 前波健二郎・斉藤浩一・石川成寿・大村裕顕・三宅信・斉藤司朗・大兼善三郎 1986. 転換畑における大豆の連作障害回避対策について. 栃木農試研報 32:65-74.
- 松波寿典・井上一博・工藤忠之・伊藤信二・長沢和弘・柴田康志・神崎正明・千田洋・二瓶直登・荒井義光・小林浩幸・山下信夫 2013. 2010年の夏季異常高温が東北地域におけるダイズの生育, 収量, 品質に及ぼした影響. 日作紀 82:386-396.
- 松村修 2004. 田畑輪換. 新編農学大事典. 養賢堂. 1014-1020.

- 村田吉男・猪山純一郎 1960. 畑作物の光合成に関する研究. 日作紀 29:151-154.
- 茂市修平・宮下慶一郎・伊五沢正光・佐々木邦年 1985. ヤマセ気象条件下における大豆の生育反応. 日作紀東北支部報 28:106-108.
- 持田秀之 2009. 東北地方における気象要素による地帯区分と大豆生産の変遷. 日作紀東北支部報 52:53-54.
- 元木悟・西原英治・北澤裕明・久徳康史・上原敬義・矢ヶ崎和弘・酒井浩晃・重盛勲 2012. マメ類の連作圃場における活性炭の施用がダイズの生育および収量性に及ぼす影響. 日作紀 81:77-82.
- 桃谷英・斉藤博行・横尾信彦 1982. 大豆の播種期と生育相の変動について. 東北農業研究 31:93-94.
- 森下正彦・猪坂津次 1982. 播種期と栽植密度大豆の生育収量に及ぼす影響. 和歌山農試研報 9:1-6.
- 山口正篤・伊澤由行・池田二郎 2003. ダイズのシワ粒発生要因の解明. 第1報 刈取時期, 降水量, 乾燥条件の影響. 日本作物学会関東支部会報 18:30-31.
- 山崎敬之・湯本節三 1997. ダイズ品種・系統の密植栽培における LAI と収量の関係. 育種・作物学会北海道談話会報 38:118-119.
- 義平大樹・川崎洋平・白岩立彦 2010. ダイズ収量および乾物生産性における日米品種間差異・北海道中央部における比較. 日作紀 79:342-343.

謝 辞

この研究を論文として形にすることが出来たのは、担当して頂いた國分教授の熱心なご指導や、ダイズの調査等にご協力して頂いた生産者の方々のおかげです。そして多くのご指摘を下さいました作物学研究室の先生・同期・後輩の皆様には感謝いたします。協力していただいた皆様へ心から感謝の気持ちと御礼を申し上げます。