

# 第 I 章 緒 論

## 第 1 節 本研究の背景および目的

近年の農業をとりまく諸情勢は非常に厳しく、ガットウグアイラウンドの農業合意後、北海道十勝地方など我が国の主要な大規模畑作農業地帯においても、様々な問題が生じるに至った。例えば、主要作物の作付制限や生産物価格の低迷は、高収益性作物への指向を促進し、かつ生産コストの一層の削減が必要となった。その結果、輪作体系下における作付作物の種類の単純化と特定作物の連作、過作を招き、主として土壌の微生物性が関与すると考えられている連作障害（土壌病害）の発生や地力の低下傾向が懸念されている<sup>119, 122, 123)</sup>。また生産者、消費者双方による生態系調和型農業への関心の高まりや、高品質、安全農産物への指向は、化学肥料依存の慣行農法の反省と見直しに端を発している<sup>37)</sup>。環境に配慮しつつ、作物を持続的に生産することが可能な「健全な土壌」を作るために、土壌が持つ多面的機能の発現要因のひとつである土壌微生物に、その問題の解決策を求める期待感が強い<sup>40, 87, 105, 111, 113)</sup>。

畑土壌の微生物に関する研究は、①根粒菌などの有用微生物の利用法策出<sup>117, 170)</sup>、②地力の構成と維持のための土壌微生物の機能解明<sup>32-36, 114, 115, 128)</sup>、③地力低下要因としての土壌病原菌の動態解明とその制御法策出<sup>111, 116, 131, 160, 175, 177)</sup>に加え、最近では、④微生物を利用した資材の開発研究が活発化する<sup>56, 121)</sup>など多岐にわたっている。しかし、実際に土壌管理を行う上での微生物性評価手法や微生物資材の評価手法に関する研究蓄積は、土壌化学性や物理性に比べると十分とはいえない<sup>40, 57, 87)</sup>。

一方、畑作における輪作の重要性は論をまたない。大久保<sup>127)</sup>は土壌肥料、病虫害から農業経営に至るまで多岐にわたる輪作の効果を述べた（表 I - 1）。このうち前 2 つについて土壌微生物が関与する利点を抽出してみると、土壌有機物の供給（微生物密度、活性の向上）、土壌物理性の改善（微生物活性の改善）、土壌養分バランスの維持（微生物活性の維持）、土壌病害の抑制（微生物相の多様化）などが挙げられよう。これらは、いわゆる土壌本来の持つ肥沃度の維持、あるいは連作障害の軽減の観点から不可欠な効果であり、地力の高低や土壌微生物的な視点からこの両者を厳密に切り離して考えることはできないと考えられる。すなわち、土壌の微生物

性は、化学性、物理性ととも、地力を構成する重要な要因の一つであるとともに、土壌病害と関連するとの見解<sup>105, 111, 116)</sup>があり、その動態は直接・間接に輪作体系下の作物の生産性に大きな影響を及ぼす。しかし、十勝地方では多様な輪作が展開されているが、作付様式と各作物の生産性ならびに生産性に関与する微生物的要因についての実験データの蓄積は十分でない。

表 I - 1 輪作の多面的効果\*

|                            |
|----------------------------|
| 1 土壌有機物の供給・維持（微生物密度、活性の向上） |
| 2 窒素供給力の増大                 |
| 3 土壌物理性の改善（微生物活性の改善）       |
| 4 土壌中の養分吸収圏の増大             |
| 5 土壌養分のバランスの維持（微生物活性の維持）   |
| 6 浸食防止                     |
| 7 病害虫の発生抑制（微生物相の多様化）       |
| 8 雑草抑制                     |
| 9 労働力配分の均衡化                |
| 10 土地利用率の向上                |

\*大久保(1976)<sup>127)</sup>に一部加筆し、かつこ内は微生物の関連要因として筆者が付け加えた。

以上のことから、本研究では土壌の微生物に関する諸性質のなかで、微生物相と微生物活性を土壌微生物特性としてとらえ、輪作体系下における作物生産性と土壌病原菌を含めた土壌微生物特性の変動の両側面から輪作の意義を再検討しつつ作物生産性向上の一助とするため、1985年より10年間、十勝地方の主要畑作物を供試した連輪作試験を実施し、上記②、③の観点に基づいて試験結果をとりまとめることとした。

本研究の概要は以下の通りである。

①北海道十勝地方に展開する大規模畑作地帯において、淡色黒ボク土での輪作年限、前作物が異なる各種の短期輪作、前後作付様式が主要畑作物（テンサイ、パレイショ、インゲンマメ、コムギ）の収量・品質におよぼす影響を評価し、より多様な輪作体系への指針を例示した。

②主要畑作物の根圏ならびに栽培土壌の微生物相、微生物活性を特徴づけた。また、連作による減収が最も大きかったインゲンマメの根圏ならびに土壌微生物相に対する前作物による短期的な影響の解析を行い、長期的には各種の作付様式において作物栽培土壌の微生物動態を継続観測し、輪作年限、前作物の違いによる微生物特性の変動とその要因を解析することにより、望ましい輪作体系の確立に向けた土壌微生物研究の意義を明らかにした。

③土壤管理法の改善によるインゲン根腐病抑止対策を、作付様式ならびに土壤の理化学性など根圏土壤微生物性を変動させる要因と土壤病原菌の動態との関係から論議するとともに、輪作体系下における作物間相互作用による根腐病の制御法を策出し、合理的な輪作体系確立に向けての研究方向を展望した。

## 第2節 畑輪作体系下における主要作物土壤の微生物特性解明に関する既往の研究

### 1) 畑土壤微生物特性

土壤の微生物性は土壤物理性、化学性と並ぶ土壤の多面的な機能の発現要因の一つであり、微生物の種類(相)と数およびその活性に大別した諸性質と捉えることができる。しかし農業の実場面において土壤微生物特性に明確な定義はなく、土壤肥沃度判定のための客観的な診断基準としてほぼ確立している物理性や化学性特性値と比べあいまいである。この理由として、土壤にはきわめて多種多様な微生物が存在しており、根粒菌、硝化菌、菌根菌、土壤病害菌など、特異的な機能を有する一部の微生物を除けば、微生物の多様性とその機能全体を把握するのは不可能だからである。しかし、生態系を重視しようとする最近の農業情勢のもとで、農業関係者はどのような土壤が微生物的に優れているのか、あるいはどのような微生物活性向上策をとれば良いのか関心を寄せるようになってきた<sup>40, 87)</sup>。このためある種の簡便な、あるいは相対的な指標ではあっても、これらの声に応える必要性が生まれている<sup>32, 36, 58)</sup>。

畑土壤の微生物特性に関する研究は、古くより希釈平板法を用いて各種土壤の細菌相、糸状菌相など基本的な一般微生物相を把握することに始まり、その後、硝化菌数、セルロース分解菌数など特殊細菌相と呼ばれる微生物の機能を重視した微生物相の解明に発展し、また、微生物活性として炭酸ガス発生量が測定された。北海道においては1960年代の吉田、坂井らによる火山性土、重粘土、泥炭土など主要土壤における微生物相の比較<sup>188, 192, 193)</sup>、有機物などの施用による微生物相の変化<sup>189)</sup>、有機リン無機化細菌相の比較<sup>190)</sup>、土壤の活性アルミニウムの影響<sup>191)</sup>、マメ科牧草根圏の微生物相の消長<sup>194)</sup>などの一連の代表的な研究がある。前4つの研究では、各種土壤がそれぞれ固有の微生物相を有していること、いずれの土壤も耕地化により微生物数が豊富になること、有機物の施用により微生物数が増加し、細菌数は春、秋に高く夏に低下することが述べられ、さらに細菌相が貧困な火山性土では有機リン無機化細菌数が少なく、土壤の活性アルミニ

ウムも細菌数を減少させる方向に働くことを認めた。これらの知見は、土壤微生物相が基質、温度、土壤水分および化学性によって変動することを示し、いずれも現在までの土壤微生物研究の重要な基礎となっているものである。しかしこれらの研究では、炭酸ガス発生量でみた各種土壤の微生物活性が微生物数とは必ずしも同様の傾向を示さず、活性の発現には微生物数の多寡よりも微生物の栄養源としての有機物(基質)の質と量が重要であってそれが微生物相に影響することを強く示唆した。また鈴木ら<sup>161)</sup>は、土壤の種類により有機物、石灰施用が土壤微生物相におよぼす影響が異なり、細菌や糸状菌がそれぞれ増殖するに適した土壤について言及し、糸状菌の種類についてはフロラの変遷が起こるとも述べている。基質の種類とそれに対応してdominantになる微生物相の関係については、Lockheadら<sup>94)</sup>、Vandecaveyeら<sup>182)</sup>、Griffithら<sup>24)</sup>の多くの報告がある。

その後、鈴木らのグループは、微生物相からみた土壤微生物性の評価法の一つとして、希釈平板法によるB/F値(細菌数/糸状菌数)、A/B値(放線菌数/細菌数)などを提唱し、これらが有機物施用時の土壤微生物相の指標となりうることを報告した<sup>74, 161)</sup>。なお、微生物数を測定する際に用いる希釈平板法は、ある特定の培地に生育するコロニーを計数するため、生育できない菌については当然ながら計測できない欠点がある<sup>14)</sup>。しかし、培地に添加した基質(有機物)によく反応するため、生物活性の高い微生物画分を計数できる利点を持つとされており、この測定法を利用して微生物特性の数値化が図られている<sup>35, 161)</sup>。

一方、畑土壤の肥沃度と土壤微生物特性をより関連づけ評価するための土壤の微生物活性および微生物代謝量を把握する手段として、土壤微生物バイオマス(以下、単にバイオマスという)、ATP含量、土壤呼吸量、各種の酵素活性など多くの定量法が確立されつつある<sup>9)</sup>。バイオマスの動態と機能解明に関する研究は、Brookes, Vance, Jenkinsonらのくん蒸培養・抽出法の開発<sup>10, 181)</sup>によって1970年代後半より急速に進歩し、現在では土壤微生物研究の大きな流れの一つとなっている。バイオマスに関する一連の研究では、微生物量であるバイオマスとともにバイオマスの代謝回転速度が定義され、微生物の菌体が窒素・リン等の植物養分の貯蔵源、供給源としての役割を担っていることが明らかにされつつある<sup>89, 99)</sup>。土壤酵素活性は微生物、植物根、動物遺体から派生した酵素の土壤中の様々な有機、無機成分の変換に関与する強度を示すものとされ<sup>26)</sup>、セルラーゼ、フォスファターゼ、 $\alpha$ -グルコシダーゼ活性等と

微生物数、バイオマス、土壌呼吸量および易分解性基質量などの正の相関関係が報告されている<sup>32, 128)</sup>。またこれらの酵素活性は有機物施用条件を的確に反映するところから、土壌微生物にとっての基質量を評価でき、かつ微生物が活動するための気相、保水性など物理的環境条件を総合的に評価し得るという特徴を持つ<sup>36)</sup>。

上述した既往の研究により、土壌中の基質および土壌の物理的、化学的環境の違いにより固有の微生物相が存在し、かつ微生物活性を異にすることが明らかである。しかし微生物活性を異にした場合に微生物相がどう変動するか、また、土壌微生物相と畑土壌の肥沃度との関連づけなど、これらの諸特性の相互関係については未だほとんど解明されておらず、興味のある問題として残されている。

## 2) 輪作体系下の土壌および根圏の微生物特性

畑土壌微生物特性の変動要因はこれまでの多くの知見から、①基質（有機物）の種類を変えること、②土壌の種類を変えること（水分、粒径などの物理性）、③土壌の養分量を変えること（化学性）の3つに大別されよう<sup>115, 131)</sup>。しかし奥村ら<sup>128)</sup>は、この中では微生物基質量が最も畑土壌の微生物活性、バイオマスに関与していることを指摘した。したがって、同一土壌条件下で行われる輪作における土壌微生物特性の変動要因は、①および③が主体で、土壌物理性による変化はこれらに比べ小さく、とくにいくつかの作付様式が導入される連輪作試験では、基質の要因が最も大きいと推察される。成田<sup>111)</sup>は、北見農試で1959年より継続中の長期連輪作試験における微生物作用として、連作土ではいずれの作物栽培土壌でも炭酸ガス放出量および硝化作用が輪作土壌よりも低下することを認めた。一方、連作よりも輪作で土壌有機物量が増加するという報告は数多い<sup>183)</sup>。約150年間も続く長期連輪作試験として著名なイギリスRothamsted試験場においては、コムギ連作土壌におけるきゅう肥施用の有無で全炭素、窒素およびバイオマスの変動が比較され<sup>11)</sup>、アメリカイリノイ州のThe Morrow Plotsにおいては、約120年間にわたる長期試験の中で、トウモロコシの連作と輪作土壌の全炭素の推移が継続して測定されている<sup>6)</sup>。しかし、連輪作下の地力推移を土壌微生物にとっての基質量と微生物活性の両者の変動から捉えた報告は少ない。Friedelら<sup>17)</sup>は、トウモロコシの連作とマメ科牧草、ナタネとの輪作において、基質量とバイオマスおよび微生物活性の比較を行うなど、より土壌微生物特性を重視した連輪作の土壌管理が述べられつつある。しかしながら、各種の作付様式を擁した連輪

作下におけるバイオマス、微生物活性の変動の報告はこれまで見あたらない。

輪作においては、上記の土壌の微生物量と微生物活性との関係とは別の観点、すなわち微生物相からみた意義が存在する。畑土壌は一般に、微生物の基質となる有機物が乏しい非根圏土壌と、根の影響を受け有機物が豊富な根圏土壌に区別することができる<sup>142, 161)</sup>。非根圏土壌および作物の根圏土壌には、数多くの土壌微生物が一定のバランスで生息しているとされるが、①根圏と非根圏では微生物相が大きく異なり<sup>71, 75, 138, 157)</sup>、②連作や短期輪作で微生物の基質の種類が偏り、③土壌微生物相が単純化する<sup>119)</sup>とされ、一方で固有の土壌病原菌密度が高まるために土壌病害が発生しやすくなり、微生物相の単純化がその土壌病害を助長するとされている。これに対し、輪作は基質の種類が豊富であるため、微生物相は多様化し、特定の病原菌との間に、④競合あるいは拮抗作用（土壌静菌作用）が生じ、病害は抑制されるものと考えられている。

①、②に関して、作物根と土壌の交互作用に関する微生物的研究がこれまでに数多く報告され、根圏微生物が作物の生育に影響をおよぼすことが*in vitro*で認められている<sup>9, 75, 94)</sup>。植物の根圏においては微生物の生育が促進されるが、その促進の程度は、根圏土壌の微生物数（R）と非根圏土壌の微生物数（S）の比（R/S）をもって根圏効果として定義されている<sup>161)</sup>。吉田、坂井ら<sup>194)</sup>は、根圏効果が好氣的細菌数とくにグラム陰性菌で顕著に高まることを見いだした。さらに根圏では栄養要求性の異なる細菌群が存在すること<sup>93)</sup>、作物の生育時期に応じて糸状菌相が変遷し<sup>138)</sup>、古い根では新しい根に比べ糸状菌数が多いこと、一般に地上部の生育が不良のときに根面で糸状菌数が増加することなどが示されている<sup>161)</sup>。③については、連輪作の見地から、Williams<sup>185)</sup>らが、輪作土壌では連作土壌よりも糸状菌相が多様性に富むことを示し、松口、新田ら<sup>119)</sup>も多様性指数を用い、連、輪作作物の根圏でほぼ同様のことを認めている。また、西尾<sup>114)</sup>は連作したハクサイの根圏で糸状菌バイオマスが輪作のそれよりも増加することを認めた。連作障害とくに土壌病害の病原菌は糸状菌が圧倒的に多いことから、以上のことを考え合わせると、作物根の健全化には作物根圏の糸状菌相の管理が重要であろうとされている<sup>119)</sup>。

一方、④の拮抗作用に関しては、糸状菌相が多様である場合に土壌病害にかかり難いと推定した糸状菌相の多様性指数の大小を指標とする考え方<sup>118)</sup>のほか、植物病理の面からも、特異的な拮抗菌や、根圏において細菌

とくに前述したグラム陰性菌や他の腐生菌との拮抗関係に基づく考え方が<sup>83, 102, 103)</sup>。後者の拮抗作用については、第4節で詳述することとするが、一般的な拮抗作用と特異的な拮抗作用に大別され<sup>12)</sup>、連作障害対策をたてる上では重要な見解である。

鈴木ら<sup>161, 162)</sup>、加藤ら<sup>74)</sup>は、根圏微生物相の簡便な指標として、B/F(細菌数/糸状菌数)値、DB/B(グラム陰性菌数/細菌数)値を提唱し、これらの値が大きい場合は細菌型、逆に小さい場合は糸状菌型とし、健全な根は細菌型の微生物相を持つとした。一般に、輪作は作物生育が良好であることから、これに当てはまるものと推測される。

これらの指標に基づく根圏土壌の微生物特性の評価は、いずれも作物根圏における微生物特性の断片的な特徴を捉えたものであり、必ずしも種々の土壌、環境条件において適用が可能か証明されている訳ではない。しかし、連輪作下の土壌微生物特性を理解する上で、土壌微生物活性と微生物相を連動させて、土壌病原菌に対する微生物的な緩衝力の大小を評価することは、大変有意義なことと考えられる。本研究では、微生物の生息部位として非根圏(土壌)と根圏に分けた上で、土壌微生物量(バイオマス)および活性と土壌微生物相(病原菌)の関係を解明し、畑輪作の土壌微生物的意義を明らかにすることを目的の一つとした。

### 第3節 十勝地方における輪作体系の現状と土壌微生物特性からみた問題点

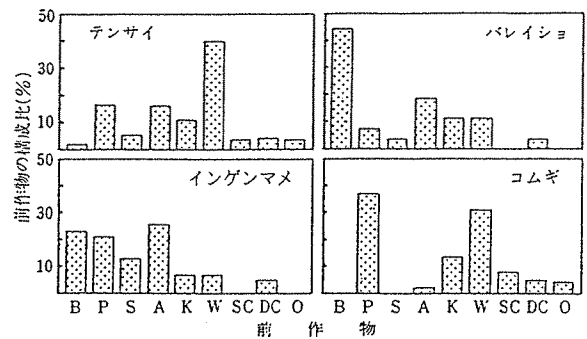
十勝地方では、農家一戸の平均耕地面積が約15haと日本では大規模な畑作経営が行われている。この中で古くからの特産物であるマメ類の作付動向に注目すると、1955年頃の十勝地方における作付比率は60%を超えていたが、冷害対策や連作障害対策としての根菜類やムギ類の導入で、最近では30%前後にまで低下した<sup>85)</sup>。したがって、マメ類を中心とした十勝地方の輪作体系は一見改善されたかにみえる。しかし、作付作物の種類はこの間にほぼ半減し、現在は畑作四品、すなわちダイズ、アズキ、インゲンマメのマメ類、テンサイ、バレイシヨの根菜類、および秋まきコムギとトウモロコシ(スイートコーン)のわずか数種類に過ぎなくなった<sup>86)</sup>。このため最近の十勝地方における輪作年限は、いずれも平均4年程度である(表I-2)。とくに、マメ類ではそれぞれのマメを単独でみれば4年程度といえるが、マメ類全体としてみた場合には2年程度であり、すなわち2年に一度は同一の圃場にいずれかのマメが作付されており、

依然としてマメ類の作付頻度は高い<sup>167, 168)</sup>。また、インゲンマメではそれ自体の連作は少ないが、ダイズやアズキの跡地に作付される事例が40%程度を占め、マメ類として一括した場合には短期輪作の傾向にあると言わざるを得ない(図I-1)<sup>169)</sup>。このことに関して、筆者らが行った実験では、インゲンマメの連作3年目圃場に、続けてインゲンマメ、ダイズ、アズキを作付した場合に、

表I-2 十勝地方主要畑作物の輪作年限\*

| 作物     | 年次         |          |
|--------|------------|----------|
|        | 1983年      | 1988年    |
| テンサイ   | 4.5        | 4.5      |
| バレイシヨ  | 4.1        | 4.0      |
| ダイズ    | 4.2(2.2)** | 4.2(2.8) |
| アズキ    | 4.4(2.4)   | 5.0(2.7) |
| インゲンマメ | 4.0(2.6)   | 3.5(2.0) |
| コムギ    | 4.0        | 3.9      |

\* 単位:年、十勝農作物増収記録会審査報告<sup>167,168)</sup>より作成。調査農家数は各作物によって異なり、30~60戸。  
\*\*カッコ内はマメ類すべてを含んだ場合の輪作年限。



図I-1 十勝地方の主要畑作物別の前作物の種類とその構成比

\*十勝畑作地帯における施肥の実態<sup>169)</sup>より作図。  
B:テンサイ P:バレイシヨ S:ダイズ A:アズキ  
K:インゲンマメ W:コムギ SC:スイートコーン  
DC:デントコーン

表I-3 8年輪作下に作付した各種マメ類とインゲンマメ2年連作跡地に作付した各種マメ類の生育比較

| 供試作物   | 圃場管理条件  | 茎葉+根重* | 根粒重 (g/株) | 根褐変** 指数 |
|--------|---------|--------|-----------|----------|
| インゲンマメ | 8年輪作    | 100    | 9.3       | 1.50     |
|        | インゲン連作跡 | 32     | trace     | 4.00     |
| ダイズ    | 8年輪作    | 100    | 4.8       | 0.70     |
|        | インゲン連作跡 | 90     | 1.4       | 2.10     |
| アズキ    | 8年輪作    | 100    | 1.6       | 0.80     |
|        | インゲン連作跡 | 71     | 0.5       | 2.30     |

\* 茎葉+根重は各作物とも8年輪作を100とした値。いずれの項目も8月8日調査。

\*\* 根褐変指数は0(健全)→4(激)の5段階評価。第II章参照。

いずれも減収し、その程度が大きいほど根の褐変も激しいこともわかった(表I-3)<sup>131)</sup>。なお最近、十勝地方ではアズキにおいても、インゲン根腐病と同じ病原菌である*Fusarium solani* f.sp. *phaseoli*による根腐病が確認されている<sup>53, 55)</sup>。したがって、本圃場での詳細な原因は不明であるものの、マメ類の短期輪作、あるいはマメ類相互の連続作付でもインゲンの連作と同様な障害が発生する可能性があるといえる。コムギでも連作を行っている事例が30%に達しており、この作物は前作として導入する作物の制約を大きく受けることが問題である。バレイショでも連作が10%程度行われるなど短期輪作の傾向が指摘でき、近年増加したそうか病<sup>166)</sup>と短期輪作の関連も推測される。

また、十勝地方と並ぶ北海道の代表的な畑作地帯である北見・網走地方の場合、農家一戸の平均耕地面積は約7haと十勝に比べ小さく、かつ気象上の制約を受けるため豆類の作付が少ない。このため根菜類主体の2~3年の短期輪作が多く、とくに斜網東部ではテンサイの連作やテンサイとバレイショの交互作が多い状況である<sup>70)</sup>。

これまで、第2節で述べてきたように、連輪作試験によって行なわれた畑作物の生産性向上に関する研究がいくつか報告されている<sup>6, 17, 42, 49, 51, 104)</sup>。このうち、日本においては代表的な試験の一つに北見農試で継続中の長期連輪作試験がある<sup>42)</sup>。この試験はテンサイを導入する際の輪作年限の検討を中心に試験区が設定されているが、他作物においてもこの試験から得られた重要な輪作年限の指針が少なくない。しかし連作障害を回避する観点では、一般にいわゆる輪作年限が長い長期輪作が望ましいとされているが、輪作に導入される作物種の違いと作付の組み合わせ、あるいは輪作が行われる土壌の種類の違いにより土壌病害の発生程度は異なり<sup>143)</sup>、どのような輪作年限、作付様式が生産性を維持するために望ましいかは一概に言えないのが実状である。

一方、地力維持の観点からみると、施肥量の違いと養分収支等は輪作体系下の生産性におよぼす重要な要因である。養分収支に関して尾崎ら<sup>41)</sup>は、前作物を異にする後作への施肥対応として、収支からみて適正な施肥を行えば前作による生育差を少なくできるとした。しかし、養分が蓄積傾向にも関わらず後作が減収する実態<sup>42, 49, 70)</sup>があり、また後作の減収を防ぐための多肥栽培は根菜類などの品質を大きく低下させ現実的でない<sup>46, 129)</sup>。すき込まれる前作物の残渣量と質の違いが、当然ながらこの要因に加味されるべきであり、これがまた前節で述べた土壌微生物特性に影響を及ぼす重要なfactorであろう。

このように、合理的な連輪作試験の設定にあたっては、輪作年限のような長期的な視点と、前作物の影響のような短期的な視点とが、総合的に考慮されるべきものでなければならぬと考えられ、これに基づいた試験設定によって多様な輪作体系への指針がより具体的に例示できよう。

#### 第4節 インゲン根腐病の生態的制御法に関する既往の研究

本研究では、連輪作試験に供試した作物の中で最も連作、短期輪作による減収の激しかったインゲンマメの土壌病害である根褐変(インゲン根腐病)を対象として、前作物、輪作年限、連作年数、土壌理化学性の違いなど、輪作体系下における本病の変動要因を上記の土壌微生物特性を背景にして解析し、抑止対策の検討を加えるとともに、輪作作物間の相互作用(アレロパシー)を利用した土壌病害の新しい生態的制御法に向けた基礎的知見を得ることとした。

*Fusarium solani* f.sp. *phaseoli*を病原菌とするインゲン根腐病は、生育初期より根および地際胚軸に赤褐色病斑を生じ、症状が激しい場合には主根が脱落し大幅な減収を招く、古くから認められたインゲンマメの主要な土壌病害である。北海道では田中、北沢ら<sup>165)</sup>が初めて報告しているが、1960年代の後半には北海道の代表的なインゲンマメ生産地帯である十勝地方においても既に80%の圃場に発生を認めており<sup>2)</sup>、現在では道内に普遍的に発生している<sup>144)</sup>。また、*F. oxysporum*もインゲンマメの根腐れに関与することが知られている<sup>61, 136)</sup>。

本病を含め*Fusarium*病は典型的な難防除の連作障害であり、根腐病に関しても決定的な防除方法はないとされている<sup>144)</sup>。本研究における連輪作試験と関連した有効な耕種軽減対策としてはインゲンマメとコムギ<sup>97)</sup>、オオムギ<sup>153, 178)</sup>との輪作の効果が報告されている。また鏡谷ら<sup>1)</sup>は、バレイショ、ダイズ、エンバク、テンサイの連作土壌を供試して根腐病菌の接種試験を行い、テンサイ、エンバク土壌で軽減効果が大きいことを認め、Huberら<sup>62)</sup>もテンサイ跡で比較的軽度であることを認めている。

宇井らは、根腐病の発生圃場にオオムギを3年連作し、その後インゲンマメを栽培した場合の軽減効果を認めた<sup>178)</sup>。この要因として、病原菌の生育に必要な基質について言及し、オオムギのようなC/N比が高い基質に根腐病菌が生育した場合に病原力が弱まることに起因すると推察された<sup>68)</sup>。Lewisら<sup>92)</sup>は、イネ科を主体にし

た各種作物残渣のすき込みが根腐病におよぼす影響を調査し、高C/N比のライムギ、エンバク成熟期残渣の根腐病抑制効果が大いことを認め、その要因として厚膜胞子の発芽率の低下を推察したが、エンバクと同程度の高C/N比のトウモロコシでは低C/N比のチモシーと同等に抑制効果が低かった。Snyderら<sup>153)</sup>は同様にオオムギとの輪作効果を認めているが、この場合はN飢餓による発芽率の低下とC/N比が高い作物体の添加により土壤中に拮抗微生物が増加したためであろうと推定している。一方、鏡谷ら<sup>1)</sup>はSnyderらに近い考え方で、Garett<sup>21)</sup>の意見を強調し、各種の作物を栽培した後は特有の微生物相(microflora)が形成され、一般的な腐生菌などが抑制力を発揮するのではないかと推論した。また同時に土壤病害は寄主-寄生菌の関係だけでは解決しそうになく、土壤に腐生的に存在する微生物の影響を解明して防除に応用する余地があることを述べている。以上の知見は、30年程度も前から明らかにされていることであるが、このような土壤微生物に対する考え方がコムギ立枯病などにも応用され、一部の土壤病害衰退土壤と*Pseudomonas*属細菌など特定の拮抗菌の関係などが解析され、拮抗菌を利用した生物防除法の研究に発展している<sup>159)</sup>。

土壤病害の増加は、前述のように一般にある特定の作物の作付頻度を増すことにより、ある種の病原菌が集積してくることに起因する。しかし駒田<sup>78)</sup>は、土壤病害発生の要因には、病原菌の生理・生態からみた主因、寄主である作物の側からみた素因、発生圃場の土壤環境要因などの誘因があることを述べている。佐藤<sup>144)</sup>は、*F. solani*による土壤病害について、インゲン根腐病などは一般に不適な環境で栽培されたとき、あるいは作物が何らかのストレスを受けたときに、病原菌に対する抵抗力を失い、その結果発病にいたるのであろうと述べた。しかしながら、不適な環境あるいはストレスなどの表現について、これらが発病におよぼす要因は何かの具体的な答えはなく、連作や短い輪作年限下で本病が増大するとすれば、これをとりまく土壤環境のなかでとくに土壤微生物の影響、たとえば病原菌と一般土壤微生物の腐生的競合についてはさらに検討の余地がある。とくに本研究では、輪作年限および前作物を異にする条件下での根腐病の変動を追跡し、本病を制御するための望ましい作付様式を考慮するなかで、本病におよぼす土壤微生物の影響を連・輪作下の土壤微生物活性と一般微生物および拮抗微生物から考察することとした。

また本章第2節にも述べたが、土壤物理性、化学性なども土壤微生物に影響を及ぼす重要な要因である。

Stotzkyら<sup>155)</sup>は土壤病害抑止型土壤の解析として、*F. oxysporum*によるバナナ萎凋病と土性、粘土鉱物の関係を調査し、土性の細かい2:1型鉱物が、粗い1:1型鉱物よりも抑止的であることを見いだした。他にも土壤病害発病の土壤間差異に関する研究が*F. oxysporum*のダイコン萎黄病などについて報告されている<sup>79, 82)</sup>。古屋ら<sup>19, 20)</sup>は北海道の北見地方に存在するインゲン根腐病の抑止土壤と活性アルミニウムの関係を明らかにした。しかし本病を土壤の種類、土性、土壤三相と土壤微生物特性を関連づけて解析した例はない。

土壤化学性改善による抑止策としては、*Fusarium*属菌に対する石灰や窒素の施用効果が検討されている<sup>80)</sup>。*F. solani* f. sp. *phaseoli*に関してみた場合には、高pH<sup>144)</sup>および硝酸態窒素の効果<sup>63)</sup>を示した報告がある。しかし、硝酸態窒素が高い場合に増加したとする報告<sup>92)</sup>や、前述のアルミニウムの影響を考え合わせると、同一条件で試験が設定されたものではないとしても、これらの効果の報告は相矛盾する可能性がある。また窒素肥料施用時の土壤微生物性の変化と根腐病の関連も興味深い。さらにリン酸、カリの施用効果とこれらの養分の圃場でのレベルが根腐病に及ぼす影響など、具体的な土壤管理上の問題が残されている。

最近、生態系調和型農業としてアレロパシー(他感作用)を利用した雑草防除の試みがなされている<sup>18)</sup>。これまでの考え方として、アレロパシーは作物残渣の有害性を指摘することが多かった<sup>173)</sup>。しかしアレロパシー活性を持つ植物の中には、植物病原菌に対して抗菌活性を持つものが少なくなく<sup>90, 91, 195)</sup>、これを土壤病害制御に利用できる可能性がある。これまでの概念として、「対抗植物」があり、同一種類で品種を異にする作物の作付により同種の後作の土壤病害が軽減するとされ、またイネ科作物の導入が土壤病害を軽減したとする例も多い<sup>81)</sup>。この病害軽減効果の具体的な機作を述べた例は少なく、単に病原菌の寄主でない作物を導入することで病原力を低下させるのか、対抗植物の抗菌活性によるものか、あるいは導入による拮抗菌の増加など土壤微生物性の変化をもたらすことによるのかなどいくつかの要因が考えられ、これについての検討が必要である。輪作を行うこと自体が作物間相互作用として病原菌を抑制する効果をもつことも考えられるが、本研究ではテンサイ、バレイショなどの通常の輪作作物によるものではなく、より具体的に抗菌活性を持つ作物に注目して、まずこれを検索し、輪作体系の中に導入することで、インゲン根腐病を生態的に制御する新しい一方策を提示したい。

## 第Ⅱ章 試 験 方 法

ここでは連輪作試験地の気象および土壌の概要ならびに土壌微生物性、理化学性の分析方法、作物体の調査分析方法等について共通となる試験方法を述べる。これ以外の他の実験・調査分析方法は個々の章で記載した。

### 1) 試験地の気象および土壌の概要

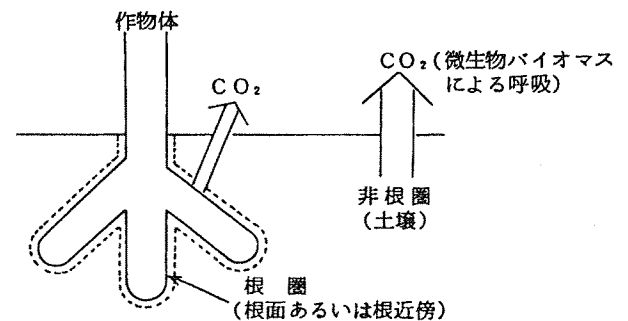
連輪作試験は北海道立十勝農業試験場圃場（北海道河西郡芽室町新生）において実施した。十勝地方は、夏期の平均最高気温が25℃前後と高く、冬期は-18℃前後まで低下する寒暖の差が大きい気象が特徴である。冬期は札幌などの道央地方に比べ積雪が少なく、平均30~40cm程度の土壌凍結が見られる。耕作期間は4月中旬から10月下旬のほぼ6ヶ月半である。この耕作期間（4月~10月）における気象の平年の積算値をみると<sup>47)</sup>、日平均の積算気温は約2900℃、積算降水量は約650mm、日照時間は約900時間である。一方、十勝地方と並ぶ大規模畑作地帯である北見・網走地方では、同時期の積算気温が約2800℃、降水量約600mm、日照時間約1200時間、土壌凍結20~30cmである<sup>43)</sup>。十勝地方中央部におけるこれらの気象測定値から耕作期間の気象の主な特徴を月別にみると、4~5月は比較的温暖であるが、6月中旬から約1ヶ月間、低温寡少の日が多く、この期間の気候が初期生育およびマメ類の開花期などを左右し、冷害をもたらすことが多い。8月に入り高温となるが盆頃には降雨が多く、テンサイ、バレイシヨでは生育が停滞気味となる。9月以降には晴天が続き生育は回復するが、テンサイ、マメ類ではこの期間の登熟の良否がしばしば収量を左右する。

一方、十勝地方の主な土壌は、道央の樽前および道東の雌阿寒系火山灰が広範囲に堆積する火山性土、および十勝川とその支流沿いに展開する沖積土である。火山性土は腐植の多少および乾湿によってさらに大きく2分される。試験地は十勝中央部に位置し、土壌は樽前系の乾性火山性土で、淡色黒ボク土に分類<sup>39)</sup>されている。連輪作試験が行われた本土壌の理化学性は表土の土性がやや粗く（SL~L）、透排水性は良好であるが、腐植が少なく、窒素、りん酸、交換性石灰などの養分が希薄であるのが特徴であり、長期連輪作試験が継続されている北見農試が腐植に富む多湿黒ボク土であるのとは対照的である。

### 2) 土壌微生物特性の定義および共通となる調査分析方法

#### (1) 土壌および根圏微生物特性の定義

本研究における微生物特性とは、土壌微生物の大きな種類である微生物相と微生物活性を示す。すなわち、細菌、糸状菌、放線菌等の微生物群集に類別した菌数、および微生物全体のバイオマス、ならびに土壌の呼吸量、酵素活性で示す微生物活性である。



図Ⅱ-1 本研究における根圏、非根圏土壌の概念

本研究における土壌微生物の採取部位は、作物の栽培期間前または栽培期間中の畦間土壌（非根圏）と、当年作付作物（以下、当作作物という）の根のごく近傍に付着する土壌（根圏）とした（図Ⅱ-1）。ただし、後者には根面微生物も含まれる。また栽培期間中は根が伸長し畦間土壌が影響を受けるため、根圏と非根圏の両者の定義は、厳密には切り放せないものと考えられる。非根圏土壌にあっては、とくに断らない限り表面2cmを除いた深さ15cmまでの土層を対象土壌とした。なおバレイシヨ栽培土壌は培土の中間の高さより採取した。また根圏土壌は、鈴木、石沢<sup>16)</sup>による外部根圏（R2）に相当する部分の微生物数、微生物相を調査することとした。

#### (2) 個々の微生物特性項目の分析方法

##### a. 非根圏土壌および作物根圏土壌の微生物数の測定

非根圏土壌はステンレス製採土器で試験区あたり6~8カ所を採取混合し、植物根が入らないように生土のまま30gを200ml容のポリビンにとり、150mlの滅菌水で1分間激しく振とう後、以下の培地で希釈平板法に供試した。根圏の微生物数は2~3株の作物体を採取し大きな土塊を払い落とす後、一定の採取部位（たとえば、地

際0～2 cmなど)から5gのサンプルを秤量し、滅菌した石英砂一薬匙分とともに70ml滅菌水で1分間激しく振とう後、土壌と同様に希釈平板法で微生物数を測定した。

微生物数は原則として絶乾土(105℃, 以下乾土という)1gあたり、または生根サンプル1gあたりで表示した。培地の成分詳細は新版土壌微生物実験法<sup>14)</sup>による。細菌は卵アルブミン寒天培地30℃7日間培養、放線菌は卵アルブミン寒天培地30℃7日間培養、糸状菌はローズベンガル寒天培地30℃, 5日間培養。

#### b. 土壌呼吸量の測定

2 mmのふるいを通した生土30 gをポリビンにとり、600ml容の亚克力製密閉瓶中で、原則として30℃で20日間培養した。発生した炭酸ガスを0.5NのNaOH溶液2 mlに吸収させ、常法<sup>14)</sup>により発生量を測定し、乾土100gあたりで表示した。

#### c. 微生物バイオマスの測定

2 mmのふるいを通した生土30 gをガラスビンにとり、デシケータ中で24時間、25℃でクロロホルムくん蒸した<sup>64)</sup>。くん蒸後脱気し、別の非くん蒸土壌10gを100mlの滅菌水で振とうした懸濁液を1ビンあたり1 ml, くん蒸後の土壌に添加し、25℃で10日間培養した。非くん蒸土壌についても同様の25℃で10日間培養を行い、それぞれ培養中の炭酸ガス発生量を前記の土壌呼吸量の測定法と同様に測定し、両者の差をバイオマス炭素量とし、得られた数値を乾土100gあたりで表示した。なお菌体炭素の無機化率を示す係数を $K_c=0.45$ とした。

バイオマス窒素は上記のくん蒸土壌を10日間培養したものについて、10%塩化カリウムで30分振とうした抽出液の無機態窒素量をオートアナライザー(FIA Star 5010型, Tecator社製)により求め、非くん蒸土壌との差より算出した。なお菌体窒素の無機化率を示す係数を $K_N=0.75$ とした。

#### d. 糸状菌菌糸長の測定

Jones and Mollison<sup>69)</sup>の方法により求めた。カップ容量が100mlのワーリングブレンダー(日本精器製, AM-3型)を用い、生土10gに対し、殺菌水60mlの割合で、18000rpm, 5分間分散した。終了後、内容物1 mlに1.5%寒天液9 mlを加え、60℃に保持しながらよく攪拌し、トーマの血球計算盤に滴下して、寒天薄片を作成した。スライドグラスに乗せた薄片をフェノール性アニリンブルー溶液で染色し、400倍で検鏡観察し、接眼方眼マイクロメーターを用いた交点法<sup>112)</sup>により測定した。

#### e. 土壌酵素活性の測定

東田ら<sup>32)</sup>の方法に基づき、p-ニトロフェノール誘導体を用いて、フォスファターゼ活性、セルラーゼ活性を測定した。すなわち2 mmのふるいを通した生土2 gを試験管に入れ、各々の測定項目の基質溶液(フォスファターゼ:p-Nitrophenylphosphate, 50mg/100ml, pH6.6りん酸緩衝液, セルラーゼ:p-Nitrophenyl- $\beta$ -D-cellobioside, 25mg/100ml, pH5.0りん酸緩衝液)を2 ml添加し、30℃の温浴中で1時間培養した。エタノールを加え反応を停止させ、ろ過後ろ液を一定量とり、2 Nトリシアミノメタン溶液で発色させ、生成したp-ニトロフェノールを比色定量し、得られた数値を乾土1gあたりで表示した。

### 3) 土壌理化学的分析方法

土壌の一般理化学性は、土壌および作物栄養の診断基準<sup>38)</sup>によった。2 mmのふるいを通した風乾土について、化学性のうちpHは電極法、全炭素はチューリン法で求めた。全窒素はケルダール法により分解し、前述したFIAオートアナライザーにより測定した。有効態りん酸はトルオーグ法により求めた。交換性塩基(カリウム, カルシウム, マグネシウム)は1 N酢安抽出液を蛍光および原子吸光光度法で求めた。得られた数値を風乾土100gあたりで表示した。また無機態窒素は、アンモニア態窒素については生土10gに対して10%塩化カリウムを100ml加え、30分振とう抽出液についてFIAオートアナライザーを用いて測定し、硝酸態窒素についてはフェノール硫酸法により測定し、その含量とした。また培養無機態窒素は20日間、30℃培養を行い同様の方法で求め、得られた数値を乾土100gあたりで表示した。

物理性は100ml採土管に採取した試料について、容積重、三相分布を求め、一部については砂柱法および加圧板法により有効水分量を求めた。

### 4) 作物体の生育調査および分析方法

#### a. 作物の生育調査および作物体の一般成分分析

作物体の一般分析は、土壌および作物栄養の診断基準<sup>38)</sup>によった。作物体は硫酸・過酸化水素で分解し、窒素はFIAオートアナライザー、りん酸はバナド・モリブデン酸法、カリは蛍光光度法により測定した。

#### b. 作物残渣の炭水化物および窒素の成分特性分析

100メッシュに微粉碎した乾燥試料について、作物体の水溶性窒素を測定し<sup>124)</sup>、全糖を80%熱エタノール抽出し除タンパクした試料についてアンスロン硫酸法<sup>151)</sup>



により測定した。さらにデタージェント法<sup>151)</sup>により、NDF (中性デタージェント繊維)、ADF (酸性デタージェント繊維)、72%硫酸不溶物 (おもにリグニン) を求め、セルロース、ヘミセルロース、リグニンを定量した。粗灰分を乾式灰化法によって求めた<sup>151)</sup>。

### c. 根活性の測定

圃場より採取した3個体の新鮮根を水洗し、主根、側根の区別なく胚軸下部1~3 cmの部分を切り取り混合し、その試料3 gについて、ただちに $\alpha$ -ナフチルアミン法により測定した<sup>152)</sup>。

### d. 根長の測定

塹壕法により土層深さ50 cmまで10×10×10 cmのブロックで採取した土壌から新鮮根を拾い出し、根長測定器 (Comair社製) により根長を測定した<sup>152)</sup>。

## 5) 土壌病害の調査方法

### a. 病害の調査方法

連輪作試験に供試した4作物の土壌病害について、成書<sup>45, 54)</sup>および十勝農業試験場病虫科の協力により観察した結果を、北海道病害虫発生調査基準<sup>52)</sup>および個々の病害調査基準により判定し記載した。後者の場合は、その都度、調査基準を記載した。ただし、本研究ではインゲン根腐病を重点的に取り扱ったので、これについては下記の方法により調査した。

### b. インゲン根腐病の判定および根腐病菌の分離方法

インゲンマメ地際胚軸部および根部の褐変症状について、以下の方法で病原菌の確認を行い、鏡谷ら<sup>1)</sup>の方法を改変した判定方法により、5段階の褐変指数で発病程度を記載した。0:健全, 1:褐変が胚軸の一部にみられる, 2:褐変が胚軸の1/4~1/2, 3:褐変が胚軸の1/2~3/4および根全体, 4:褐変が胚軸の全部、主根脱落。各試験区の発病程度は根褐変指数=Σ (褐変指数×当該株数)/調査株数。なお、調査株数は通常、1回のサンプリングあたり10~20株とした。8月上旬に

における本指数が1段階増すごとにほぼ10, 30, 50%の減収を認め、鈴井<sup>158)</sup>が報告した減収程度とほぼ一致した。

根腐病菌の分離は常法<sup>150)</sup>にしたがって行い、田中、北沢<sup>165)</sup>および松尾<sup>169)</sup>らの方法で同定した。すなわち、6月下旬のインゲンマメ胚軸皮層部 (柔組織) の赤褐色~黒褐色に褐変した部位から、PDA培地上で鎌形で両端が円い大型分生胞子を生ずる分離菌を得た。大型分生胞子は2隔膜がもっとも多く、大きさは45~60  $\mu\text{m}$ ×5.0~5.5  $\mu\text{m}$ であった。分離菌を殺菌土壌に接種し、インゲンマメに対する病原性を検討した結果、圃場の場合と同様の病徴が認められた。また、接種試験を行い病原菌の寄主範囲について検討した結果、インゲンマメの大正金時、姫手亡、ライママメ、ハナマメに病原性を認め、ダイズ、アズキ、アルファルファ、アカクローバには病原性がなかった。これら形態的特徴および接種試験などの結果は田中・北沢<sup>165)</sup>の記載に一致し、本菌を*Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*と同定した。また褐変部位からは、*Fusarium oxysporum*も多数分離され、同様の接種試験でインゲンに対し弱い病原性 (褐色の症状で指数1.0程度)を示す菌株も認められた。*F. oxysporum*によるインゲンマメの根腐れ、根褐変症状については、道内でこれまでに報告されている<sup>61, 111, 136)</sup>。ただし、本圃場における根褐変症状程度からみて、生育、収量に影響が大きい病原菌は*F. solani*であった。

## 6) インゲンマメ連作圃場の設定

本研究では、1985年に開始した第Ⅲ章に後述する連輪作試験圃場のインゲンマメ連作区のほか、インゲン根腐病を生態的に制御することを目的としたいくつかの実験を行うため、インゲンマメ連作圃場および1 m<sup>2</sup>、4 m<sup>2</sup>の連作枠圃場を設定した。この圃場は連輪作試験圃場に隣接しており、1986年より試験にあわせて適宜設置した。設置圃場の詳細は第Ⅴ、Ⅵ章で述べる。耕種概要として、とくに断らない限り、連輪作圃場と同じ品種「大正金時」を供試し、畦間60 cm×株間20 cm、1株2本立の栽植密度とした。施肥は化成S 644を用い、N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=4-16-9.3 (kg10a<sup>-1</sup>)の施肥標準量で栽培した。

### 第三章 連作ならびに輪作年限を異にする作付様式が主要畑作物の収量に及ぼす影響とその支配要因

本章では、これまでの多くの連輪作試験結果<sup>42, 49, 104)</sup>から、減収がほぼ認められないとされる4年輪作を標準輪作年限として、これより短期の輪作年限における前後作の作付様式を変えた試験区を設定して、作物の収量反応性を把握することとした。また、連作による作物の収量反応が土壌の種類によって影響されるかどうかを明らかにするために、異なる4種の土壌を用いた連作試験を併せて実施した。

#### 第1節 作付順序を異にする短期輪作年限下の作物収量反応

淡色黒ボク土およびそれを含む4種類の土壌において、作付様式を異にする連・輪作試験区を設置し、作物収量および品質におよぼす影響を検討した。

##### 1. 実験方法

##### 1) 淡色黒ボク土の各種作付様式下における作物収量反応

十勝農試圃場において、圃場連輪作試験を1985年～19

表Ⅲ-1 連輪作試験圃場供試土壌の理化学性

| pH                                      | T-C<br>(g 100g <sup>-1</sup> )           | T-N<br>(g 100g <sup>-1</sup> )   | C/N                               | 無機能<br>N<br>(mg 100g <sup>-1</sup> ) | 熱水抽出<br>N<br>(mg 100g <sup>-1</sup> ) |
|---|--|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 6.0                                     | 2.5                                      | 0.26                             | 9.5                               | 1.7                                  | 4.3                                   |
| リン酸<br>吸収係数<br>(mg 100g <sup>-1</sup> ) | トルオーグ<br>リン酸<br>(mg 100g <sup>-1</sup> ) | CEC<br>(meq 100g <sup>-1</sup> ) | 交換性塩基<br>(mg 100g <sup>-1</sup> ) |                                      |                                       |
| 1423                                    | 4.0                                      | 16.3                             | K <sub>2</sub> O                  | CaO                                  | MgO                                   |
|   |  |                                  | 34                                | 88                                   | 16                                    |

1985年春分析

94年の10年間実施した(写真1)。土壌は淡色黒ボク土で、試験開始時の土壌理化学性を表Ⅲ-1に記載した。

供試作物、品種は以下の通りである。テンサイの供試品種は、1985, 86年は「モノヒル」、1987, 88年は「モノエース」、89年以降は「モノエースS」である。バレイショでは、1985, 86年は「農林1号」とし、87年以降は「ワセシロ」を供試した。インゲンマメは試験全年次で「大正金時」を供試した。コムギでは1985, 86年は春播コムギ「ハルユタカ」、87年以降は秋播コムギ「チホクコムギ」を供試した。

表Ⅲ-2 連輪作試験における各種作付様式の設定

| 系列名                          | 試験開始後年数・年次  |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|                              | 1年目<br>1985   | 2<br>86 | 3<br>87 | 4<br>88 | 5<br>89 | 6<br>90 | 7<br>91 | 8<br>92 | 9<br>93 | 10<br>94 |
| 4年輪作                         |   |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| 4 a                          | B   | P       | K       | W       | B       | P       | K       | W       | B       | P        |
| 4 b                          | B   | K       | P       | W       | B       | K       | P       | W       | B       | K        |
| 3年輪作                         |   |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| 3 a                          | B   | P       | K       | B       | P       | K       | B       | P       | K       | B        |
| 3 b                          | B   | K       | P       | B       | K       | P       | B       | K       | P       | B        |
| 3 c                          | K   | W       | B       | K       | W       | B       | K       | W       | B       | K        |
| ただし3 c区は2枚の圃場のため3年に1度は試験区なし。 |   |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| 2年輪作(交互作)                    |   |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| 2                            | Pと各作物の交互作(Pは2, 4, 6, 8, 10年目)   |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| 2                            | Kと各作物の交互作(Kは2, 4, 6, 8, 10年目)   |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| 連作                           |   |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|                              | 各作物(PとKは85年から, B, Wは86年から)<br>1985年から作付を始め、86年も連作した場合、86年を連作2年目と表現した。 |         |         |         |         |         |         |         |         |          |

注) ここでは、一枚の圃場の作付順のみ記載した。作物名はテンサイ:B、バレイショ:P、インゲンマメ:K、コムギ:W

以降の試験区名は、( )内に前作物を表示し、テンサイの4年輪作のb系列はテンサイ4b(W)のように表示した。テンサイとバレイショとの2年輪作の場合は、テンサイ2(P)、バレイショ2(B)のように表示し、あるいは系列名として、B-Pのように表示した。

表Ⅲ-3 連輪作試験各作物の施肥量および耕種概要

| 作物     | 肥料名  | 施肥量(kg 10a <sup>-1</sup> ) |                               |                  |     | 畦間×株間<br>(cm) | 播種<br>(月/旬) | 収穫<br>(月/旬) |
|--------|------|----------------------------|-------------------------------|------------------|-----|---------------|-------------|-------------|
|        |      | N                          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | MgO |               |             |             |
| テンサイ   | S014 | 15                         | 32                            | 21               | 8   | 60×23         | 4月下(移)      | 10月上        |
| バレイショ  | S804 | 8                          | 20                            | 14               | 5   | 75×30         | 4月下         | 8月下         |
| インゲンマメ | S644 | 4                          | 16                            | 9                | 3   | 60×20         | 5月下         | 9月上         |
| コムギ    | 麦4号  | (12)                       | 13                            | 7                | 4   | 30(条播)        | 9月中         | 7月下         |

注) コムギの窒素施肥量は基肥 8 kg。追肥は 4 月中旬に硫酸で施用した。  
1985, 86年の春まきコムギ「ハルユタカ」は追肥していない。

連輪作圃場の作付様式を表Ⅲ-2に示した。北見農試における長期連輪作試験<sup>42)</sup>を参考にして、本試験の対照区を4年輪作とし、同一の輪作年限でも前作物の異なる処理区を、4年輪作では2系列、3年輪作では3系列、2年輪作では5系列を設定し、あわせて連作区を設定した。すなわち、4年輪作ではテンサイ-バレイショ-インゲンマメ-コムギ(系列名4a)、テンサイ-インゲンマメ-バレイショ-コムギ(4b)、3年輪作では、テンサイ-バレイショ-インゲンマメ(3a)、テンサイ-インゲンマメ-バレイショ(3b)、インゲンマメ-コムギ-テンサイ(3c)、2年輪作ではテンサイ-バレイショ(2a)、コムギ-バレイショ(2b)、バレイショ-インゲンマメ(2c)、テンサイ-インゲンマメ(2d)、コムギ-インゲンマメ(2e)を設定した。試験区は毎年各作物を観察できるように輪作物数ごとの圃場、すなわち4年輪作であれば作物ごとに4枚の圃場を設置した。2年輪作(以下、交互作という)は、作物相互に前後作の影響を把握する目的で、インゲンマメおよびバレイショと各作物の交互作を設置した。なお連輪作試験開始前の1983年にはエンバク、84年にトウモロコシを均一に栽培した。

施肥量および耕種概要を表Ⅲ-3に記載した。施肥量は北海道施肥標準(1995)に基づく十勝農試慣行である。試験区面積は1区36m<sup>2</sup>で2反復とした。収穫後、秋の作物残渣処理は、テンサイ、バレイショについては収穫後に残存した茎葉を、コムギについては小型コンバイン収穫後の麦稈をチョッパーで破碎後、それぞれロータリーハローですき込んだ。インゲンマメは刈株を残し落葉後の茎を圃場より搬出した。マメ類の収穫残渣は、各種の病害防除の観点から、収穫後に圃場から搬出することが慣行であり、本試験でもそれに従った。また耕起法については、本試験はコムギ試験圃場が点在して作付されているため、作付前、収穫後ともプラウ耕起を行わず、ロータリーハローでのみ耕起したが、試験6年目以降はサブソイラー(60cm幅、深さ30cm)を収穫後に施工した。その他の圃場管理として間引き、補植、中耕、除草、種子および種イモ消毒、除草剤、薬剤防除等は十勝農試慣行で行った。

作物体の調査項目はテンサイでは菜根収量および根中糖分、バレイショでは上イモ重およびでんぷん価、インゲンマメでは子実重および百粒重、コムギでは子実重お

表Ⅲ-4 枠圃場連輪作試験供試土壌の理化学性

| 土壌     | 略称          | pH                       | T-C                      | T-N                       | C/N              | 無機態 | 熱水抽出 |
|--------|-------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------|-----|------|
|        |             |                          | (g 100g <sup>-1</sup> )  | (g 100g <sup>-1</sup> )   |                  | N   | N    |
| 淡色黒ボク土 | 淡黒          | 6.1                      | 2.6                      | 0.24                      | 10.9             | 1.2 | 4.4  |
| 多湿黒ボク土 | 多湿          | 6.0                      | 5.2                      | 0.39                      | 13.3             | 1.2 | 13.1 |
| 褐色低地土  | 褐低          | 6.2                      | 2.6                      | 0.21                      | 12.0             | 1.1 | 6.8  |
| 灰色台地土  | 灰台          | 5.5                      | 5.9                      | 0.10                      | 14.8             | 1.4 | 7.5  |
| 土壌     | リン酸<br>吸収係数 | リン酸                      | トルオーグ<br>リン酸             | CEC                       | 交換性塩基            |     |      |
|        |             | (mg 100g <sup>-1</sup> ) | (mg 100g <sup>-1</sup> ) | (meq 100g <sup>-1</sup> ) | K <sub>2</sub> O | CaO | MgO  |
| 淡色黒ボク土 |             | 1265                     | 22                       | 15.0                      | 31               | 84  | 16   |
| 多湿黒ボク土 |             | 786                      | 33                       | 20.7                      | 46               | 112 | 16   |
| 褐色低地土  |             | 802                      | 37                       | 8.1                       | 78               | 88  | 16   |
| 灰色台地土  |             | 1464                     | 34                       | 30.1                      | 51               | 88  | 22   |

1988年春の4年輪作インゲンマメ作付予定地土壌を分析。

表Ⅲ-5 柁圃場連輪作試験における供試作物, 施肥量および耕種概要

| 作物     | 品種 <sup>1)</sup> | 肥料名  | 施肥量(g m <sup>-2</sup> ) <sup>2)</sup> |                               |                  |     | 畦間×株間<br>(cm) | 播種・収穫          |
|--------|------------------|------|---------------------------------------|-------------------------------|------------------|-----|---------------|----------------|
|        |                  |      | N                                     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | MgO |               |                |
| テンサイ   | モノエースS           | S014 | 15                                    | 32                            | 21               | 8   | 50×20         | 圃場連輪作<br>試験に同じ |
| バレイショ  | ワセシロ             | S804 | 8                                     | 20                            | 14               | 5   | 50×20         |                |
| インゲンマメ | 大正金時             | S644 | 4                                     | 16                            | 9                | 3   | 30×15         |                |
| コムギ    | チホクコムギ           | 麦4号  | (12)                                  | 13                            | 7                | 4   | 20 (条播)       |                |

1)1989年以降の品種を示す。

2)各土壌ともよりんを86年春に20gP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> m<sup>-2</sup>を施用した (灰色台地土のみ87年春にも同量)。

および千粒重とした。また、試験年次における一定時期の気象条件 (日平均の積算気温度および降水量) と、連作および3年輪作, 交互作の短期輪作年限下における作物収量反応との関係を回帰分析により検討した。

## 2) 異なる4土壌を用いた柁圃場連作試験における作物収量反応

十勝農試圃場に設置されたコンクリート柁において、異なる4種類の土壌を用いた柁圃場連作試験を1987~91年の5年間実施した。供試土壌は、淡色黒ボク土 (十勝農試圃場), 多湿黒ボク土 (芽室町雄馬別, 未耕地), 褐色低地土 (芽室町新生, 未耕地) および灰色台地土 (滝川市東滝川, 草地) のそれぞれ作土とし、1 m<sup>2</sup>の柁に40 cmの深さで土壌を充填した。供試土壌の理化学性は表Ⅲ-4に記載した。供試作物, 品種は前項の圃場連輪作試験と同年次の作物, 品種に準じた。

処理区は、対照区を4年輪作とし、作付様式をテンサイ-バレイショ-インゲンマメ-コムギとした。3年輪作および交互作の短期年限区を設定せず、各作物の連作区のみを設定した。毎年各作物を観察できるよう輪作作物数ごとの試験柁を設置し、2反復で試験を行った。なお、1989年以降の供試作物, 施肥量などの耕種概要を表Ⅲ-5に記載した。収穫後の残渣処理は圃場連輪作試験に準じた。

## 2. 実験結果

### 1) 淡色黒ボク土の各種作付様式下における作物収量反応

#### (1) 各種作付様式における収量, 品質の変動

各種作付様式における作物収量, 品質の年次推移をとりまとめ、淡色黒ボク土における連作および短期輪作による作物ごとの収量反応を特徴付けた。ただし、品質に関しては、収量に比べ年次変動が比較的小さいため、本項の最後に各作物を一括して記載することとした。

#### a. テンサイ

4年輪作4a系列区 (前作コムギ) に対する各種作付様式における根重の指数を、根重型品種「モノヒル」から糖分型品種「モノエース」に移行した試験3年目以降について示した (表Ⅲ-6)。同じ4年輪作のコムギ跡である4b系列区で、年次変動はあるものの4a系列区より高い年次が多く、平均で3%ほど増収した。3年輪作では平均値で見ると4a系列区とほぼ同等もしくはそれ以上であったが、全般に年次変動が大きくなり、インゲンマメを前作とする3a系列区ではやや減収する年次が多く、10年目には大きく減収した。コムギを前作とする3c系列区は試験後期に増収する傾向となった。交互作では平均値では4a系列区と同等であったが、インゲンマメとの交互作2(K)区は試験7年目から減収し、3a系列と類似した傾向となった。連作区では連作4年目 (試験5年目) までは減収しないが、連作5年目 (試験6年目) 以降は漸減傾向にあり、連作後期では4a系列に比べ15%程度減収した。

#### b. バレイショ

4a系列区 (前作テンサイ) に対する各種作付様式における上イモ重の指数を、品種「農林一号」から「ワセシロ」に移行した試験2年目以降について示した (表Ⅲ-7)。上イモ重は、同じ4年輪作であっても4a系列区に比べ、インゲンマメ前作の4b系列区で平均5%程度低く推移した。3年輪作では年次間の変動が大きいものの、同じ前作テンサイの3a系列区は4a系列区とほぼ同等、インゲンマメ前作の3b系列区はやや減収し同じ前作の4b系列区と同等であった。交互作では作付した前作物間に違いがあり、テンサイとの交互作2(B)区は試験前期において4a系列とほぼ同等であったが後期には減収傾向となった。前作インゲンマメの2(K), 前作コムギの2(W)区では平均で15%程度減収し、短期輪作の影響は明瞭であった。しかし試験10年目には、2(K)区の減収が2(W)区のそれより著しく、前作物のインゲ

表Ⅲ-6 各種作付様式におけるテンサイ根重の年次推移

| 試験区名 <sup>1)</sup> |        |       | 試験開始後年数・年次 <sup>2)</sup> |        |        |        |        |        |
|--------------------|--------|-------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 系列名                | 前作物    | 記号    | 1                        | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|                    |        |       | 1985                     | 86     | 87     | 88     | 89     | 1990   |
| 4a                 | コムギ    | 4a(W) | (4568)                   | (5710) | (5543) | (4950) | (4143) | (3627) |
| 4b                 | コムギ    | 4b(W) |                          | 100    | 95     | 107    | 110    | 105    |
| 3a                 | インゲンマメ | 3a(K) |                          | 109    | 97     | 112    | 114    | 93     |
| 3b                 | バレイショ  | 3b(P) |                          | 105    | 101    | 102    | 121    | 91     |
| 3c                 | コムギ    | 3c(W) |                          | 100    | 99     | 105    |        | 101    |
| 2                  | バレイショ  | 2(P)  |                          |        | 96     |        | 115    |        |
| 2                  | インゲンマメ | 2(K)  |                          |        | 102    |        | 106    |        |
| 連作                 |        | 連作    |                          |        | 101    |        | 104    | 84     |

| 試験区名 <sup>1)</sup> |        |       | 試験開始後年数・年次 <sup>2)</sup> |        |        |        |                    |      |
|--------------------|--------|-------|--------------------------|--------|--------|--------|--------------------|------|
| 系列名                | 前作物    | 記号    | 7                        | 8      | 9      | 10     | 3年目                | 変動係数 |
|                    |        |       | 91                       | 92     | 93     | 94     | 以降平均 <sup>3)</sup> | (%)  |
| 4a                 | コムギ    | 4a(W) | (4451)                   | (4601) | (4058) | (3762) | (4538)             | —    |
| 4b                 | コムギ    | 4b(W) | 98                       | 103    | 110    | 98     | 103                | 5.2  |
| 3a                 | インゲンマメ | 3a(K) | 94                       | 104    | 98     | 85     | 100                | 9.1  |
| 3b                 | バレイショ  | 3b(P) | 93                       | 95     | 113    | 104    | 102                | 8.9  |
| 3c                 | コムギ    | 3c(W) | 105                      |        | 119    | 122    | [108]              | 7.9  |
| 2                  | バレイショ  | 2(P)  | 101                      |        | 89     |        | 100                | 8.8  |
| 2                  | インゲンマメ | 2(K)  | 94                       |        | 94     |        | 99                 | 5.8  |
| 連作                 |        | 連作    | 86                       | 86     | 85     | 78     | 91                 | 10.1 |

- 1) 試験区名記号の( )は前作物
- 2) 試験2年目は前作物を異にする試験区のみ。連作区の作付は試験2年目より開始。  
4a(W)区のみ根重(kg 10a<sup>-1</sup>)を表示し、他は4a(W)区を100とする指数表示。  
空欄は試験区なし。
- 3) 試験3年目以降の平均値について、3c(W)区を除き分散分析を行った。  
2年輪作のない年次 F値 4.80\*\* LSD(5%) 8.4  
2年輪作のある年次 F値 1.86

表Ⅲ-7 各種作付様式におけるバレイショ上イモ重<sup>1)</sup>の年次推移

| 試験区名 <sup>2)</sup> |        |       | 試験開始後年数・年次 <sup>3)</sup> |        |        |        |        |        |
|--------------------|--------|-------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 系列名                | 前作物    | 記号    | 1                        | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|                    |        |       | 1985                     | 86     | 87     | 88     | 89     | 1990   |
| 4a                 | テンサイ   | 4a(B) | (3720)                   | (4611) | (3806) | (3635) | (3122) | (2726) |
| 4b                 | インゲンマメ | 4b(K) |                          | 94     | 92     | 87     | 101    | 115    |
| 3a                 | テンサイ   | 3a(B) |                          | 100    | 114    | 86     | 100    | 115    |
| 3b                 | インゲンマメ | 3b(K) |                          | 94     | 85     | 91     | 102    | 96     |
| 2                  | テンサイ   | 2(B)  |                          | 100    |        | 92     |        | 109    |
| 2                  | インゲンマメ | 2(K)  |                          | 94     |        | 79     |        | 89     |
| 2                  | コムギ    | 2(W)  |                          | 91     |        | 72     |        | 94     |
| 連作                 |        | 連作    |                          | 93     | 81     | 82     | 89     | 89     |

| 試験区名 <sup>2)</sup> |        |       | 試験開始後年数・年次 <sup>3)</sup> |        |        |        |                    |      |
|--------------------|--------|-------|--------------------------|--------|--------|--------|--------------------|------|
| 系列名                | 前作物    | 記号    | 7                        | 8      | 9      | 10     | 3年目                | 変動係数 |
|                    |        |       | 91                       | 92     | 93     | 94     | 以降平均 <sup>3)</sup> | (%)  |
| 4a                 | テンサイ   | 4a(B) | (3700)                   | (3637) | (3020) | (2458) | (3413)             | —    |
| 4b                 | インゲンマメ | 4b(K) | 89                       | 96     | 88     | 96     | 96                 | 8.7  |
| 3a                 | テンサイ   | 3a(B) | 93                       | 97     | 115    | 99     | 99                 | 9.6  |
| 3b                 | インゲンマメ | 3b(K) | 83                       | 113    | 93     | 98     | 98                 | 9.0  |
| 2                  | テンサイ   | 2(B)  |                          | 92     |        | 97     |                    | 6.6  |
| 2                  | インゲンマメ | 2(K)  |                          | 91     |        | 84     |                    | 10.9 |
| 2                  | コムギ    | 2(W)  |                          | 92     |        | 85     |                    | 10.2 |
| 連作                 |        | 連作    | 65                       | 83     | 71     | 83     | 83                 | 10.7 |

- 1) 20g以上の塊茎収量
- 2) 試験区名記号の( )は前作物
- 3) 4a(B)区のみ上イモ重(kg 10a<sup>-1</sup>)を表示し、他は4a(B)区を100とする指数表示。  
空欄は試験区なし。
- 4) 試験2年目以降の平均値について、分散分析を行った。  
2年輪作のない年次 F値 11.91\*\* LSD(5%) 9.6  
2年輪作のある年次 F値 5.96\*\* LSD(5%) 7.2

表Ⅲ-8 各種作付様式におけるインゲンマメ子実重の年次推移

| 系列名 | 試験区名 <sup>1)</sup> |       | 試験開始後年数・年次 <sup>2)</sup> |         |         |         |         |           |
|-----|--------------------|-------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
|     | 前作物                | 記号    | 1<br>1985                | 2<br>86 | 3<br>87 | 4<br>88 | 5<br>89 | 6<br>1990 |
| 4a  | バレイショ              | 4a(P) | (233)                    | (170)   | (207)   | (204)   | (181)   | (189)     |
| 4b  | テンサイ               | 4b(B) |                          | 104     | 98      | 112     | 102     | 112       |
| 3a  | バレイショ              | 3a(P) |                          | 100     | 95      | 64      | 96      | 89        |
| 3b  | テンサイ               | 3b(B) |                          | 104     | 96      | 70      | 107     | 96        |
| 3c  | テンサイ               | 3c(B) |                          | 100     |         | 82      | 103     |           |
| 2   | テンサイ               | 2(B)  |                          | 104     |         | 77      |         | 79        |
| 2   | バレイショ              | 2(P)  |                          | 100     |         | 79      |         | 72        |
| 2   | コムギ                | 2(W)  |                          | 100     |         | 70      |         | 93        |
| 連作  |                    | 連作    |                          | 59      | 27      | 25      | 62      | 60        |

| 系列名 | 試験区名 <sup>1)</sup> |       | 試験開始後年数・年次 <sup>2)</sup> |         |         |          |                           |             |
|-----|--------------------|-------|--------------------------|---------|---------|----------|---------------------------|-------------|
|     | 前作物                | 記号    | 7<br>91                  | 8<br>92 | 9<br>93 | 10<br>94 | 3年目<br>以降平均 <sup>3)</sup> | 変動係数<br>(%) |
| 4a  | バレイショ              | 4a(P) | (169)                    | (185)   | (119)   | (85)     | (168)                     | —           |
| 4b  | テンサイ               | 4b(B) | 117                      | 112     | 108     | 147      | 112                       | 10.1        |
| 3a  | バレイショ              | 3a(P) | 56                       | 69      | 92      | 89       | 84                        | 9.5         |
| 3b  | テンサイ               | 3b(B) | 76                       | 63      | 101     | 105      | 91                        | 8.0         |
| 3c  | テンサイ               | 3c(B) | 96                       | 86      |         | 128      | [99]                      |             |
| 2   | テンサイ               | 2(B)  |                          | 75      |         | 79       | 83                        | 6.6         |
| 2   | バレイショ              | 2(P)  |                          | 72      |         | 61       | 77                        | 10.9        |
| 2   | コムギ                | 2(W)  |                          | 76      |         | 91       | 86                        | 10.2        |
| 連作  |                    | 連作    | 59                       | 53      | 70      | 65       | 53                        | 10.7        |

1) 試験区名記号の( )は前作物

2) 4a(P)区のみ子実重(kg 10a<sup>-1</sup>)を表示し、他は4a(P)区を100とする指数表示。  
空欄は試験区なし。

3) 試験2年目以降の数値について、3c(B)区を除き分散分析を行った。

2年輪作のない年次 F値 29.04\*\* LSD(5%) 11.8

2年輪作のある年次 F値 11.88\*\* LSD(5%) 12.4

ンマメとコムギで後作のバレイショに差があることを窺わせた。連作区では前期から漸減傾向にあり平均15~20%程度の減収であったが、後期では30%も減収する年次があった。

#### c. インゲンマメ

インゲンマメの子実重は、前作バレイショの4a系列区に比べ、前作テンサイの4b系列区で高く、平均で12%ほど増収した(表Ⅲ-8)。3年輪作では、変動は大きい全般に4年輪作より減収し、作付様式別には前作バレイショの3a系列区で減収の程度が大きく、前作テンサイの3b、3c系列では、3a系列区より減収率は小さかった。3b系列と3c系列では、輪作にコムギが入った3c系列区のほうが平均値で8ポイントほど3b系列区より減収率が小さかった。交互作用では試験4年目以降から20%~30%と大きく減収し、3年輪作よりさらにその程度が大きかった。コムギとの交互作用2(W)区は当初、テンサイとの交互作用2(B)、バレイショとの交互作用2(P)に比べ減収したが、後期には収量は回復傾向にあった。また2(P)区は試験6年目頃からこの3処理の中では、減収傾向が大きかった。連作区では連作3年目ま

で子実重比25まで著しく減収したが、5年目以降回復傾向にあり、試験後期には30%~40%の減収率で推移した。

#### d. コムギ

4年輪作4a系列(前作インゲンマメ)に対する各種作付様式における子実重の指数を、春播コムギ品種「ハルユタカ」から秋播コムギ「チホクコムギ」に移行した試験3年目以降について示した(表Ⅲ-9)。秋播コムギの前作物は限られるため、この試験でも比較する作付様式は少ない。4a系列区に比べ、同じ4年輪作でも前作バレイショの4b系列区では平均4%程度減収し、試験の後期では8%程度の減収率であった。3年輪作は前作インゲンマメの3c系列区のみ試験区であったが、4a系列と比べほぼ同等であった。バレイショとの交互作用2(P)区では平均値で14%、インゲンマメとの交互作用2(K)区は6%程度の減収であり、2(K)区は2(P)区に比べ減収率は小さかった。連作区ではほぼ毎年10%ずつ、連作5年目までに40%まで大きく減収し、以降は変動がきわめて大きかった。

表Ⅲ－9 各種作付様式におけるコムギ子実重の年次推移

| 系列名 | 試験区名 <sup>1)</sup> |       | 試験開始後年数・年次 <sup>2)</sup> |         |         |         |         |           |
|-----|--------------------|-------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
|     | 前作物                | 記号    | 1<br>1985                | 2<br>86 | 3<br>87 | 4<br>88 | 5<br>89 | 6<br>1990 |
| 4a  | インゲンマメ             | 4a(K) | (216)                    | (338)   | (462)   | (460)   | (442)   | (571)     |
| 4b  | バレイショ              | 4b(P) |                          | 105     | 110     | 99      | 83      | 97        |
| 3c  | インゲンマメ             | 3c(K) |                          | 100     | 105     |         | 100     | 85        |
| 2   | バレイショ              | 2(P)  |                          |         | 96      |         | 79      |           |
| 2   | インゲンマメ             | 2(K)  |                          |         | 103     |         | 84      |           |
| 連作  |                    | 連作    |                          |         | 90      | 79      | 67      | 63        |

| 系列名 | 試験区名 <sup>1)</sup> |       | 試験開始後年数・年次 <sup>2)</sup> |         |         |          |                       |          |
|-----|--------------------|-------|--------------------------|---------|---------|----------|-----------------------|----------|
|     | 前作物                | 記号    | 7<br>91                  | 8<br>92 | 9<br>93 | 10<br>94 | 3年目以降平均 <sup>3)</sup> | 変動係数 (%) |
| 4a  | インゲンマメ             | 4a(K) | (436)                    | (399)   | (373)   | (450)    | (437)                 | —        |
| 4b  | バレイショ              | 4b(P) | 94                       | 94      | 90      | 98       | 96                    | 8.1      |
| 3c  | インゲンマメ             | 3c(K) |                          | 112     | 102     | 122      | [102]                 | 8.0      |
| 2   | バレイショ              | 2(P)  | 91                       |         | 79      |          | 86                    | 11.0     |
| 2   | インゲンマメ             | 2(K)  | 102                      |         | 87      |          | 94                    | 8.5      |
| 連作  |                    | 連作    | 84                       | 45      | 87      | 78       | 75                    | 25.1     |

- 1) 試験区名記号の( )は前作物
- 2) 試験2年目は前作物を異にする試験区のみ。連作区の作付は試験2年目より開始。  
4a(K)区のみ子実重(kg 10a<sup>-1</sup>)を表示し、他は4a(K)区を100とする指数表示。  
空欄は試験区なし。
- 3) 試験3年目以降の数値について、3c(K)区を除き分散分析を行った。  
2年輪作のない年次 F値 19.76\*\* LSD(5%) 17.2  
2年輪作のある年次 F値 5.84\*\* LSD(5%) 8.1

e. 各作物の品質変動

各作物とも全般に前作物による差が小さかったため、4年輪作4a系列に対する各輪作年限の比として平均値を表示した(表Ⅲ-10)。テンサイ根中糖分は、4年輪作間では差がないが、3年輪作の各区ではやや低下する年次があった。交互作用では試験3年目までは同等であるがその後やや低下する傾向となった。連作区では試験当初から根中糖分は低下し、年次を経るにつれて4a系列との差は徐々に大きくなり、後期では指数の差は10ないし15ポイントの間で推移した。バレイショでんぷん価は、

輪作年限による影響はほとんど認められなかったが、前作物がテンサイの場合にわずかに低い傾向にあった。交互作用以上の長い輪作年限ではイモ重が低い場合に高い傾向にあるが、連作区では低収であってもでんぷん価は高くなかった。インゲンマメ百粒重は4年輪作間では差がなく、3年輪作、交互作用ではやや減少した。連作区では当初から減少傾向にあり、平均値では12%程度小さかった。コムギ千粒重は子実重と異なり、3年、交互作用のいずれの輪作年限でも減少しないが、連作区では後期にやや減少した。

表Ⅲ－10 連輪作試験開始10年目までの連作・短期輪作年限下の各作物の品質低下の特徴

| 作物     | 品質項目  | 4a系列の<br>平均値実数 | 輪作年限別の比 |      |        | 連作区における<br>経年的な特徴 |
|--------|-------|----------------|---------|------|--------|-------------------|
|        |       |                | 3年      | 交互作用 | 連作     |                   |
| テンサイ   | 根中糖分  | 17.3%          | 98      | 97   | 90(85) | 連作2年目から低下         |
| バレイショ  | でんぷん価 | 16.4%          | 101     | 103  | —      | 低下せず              |
| インゲンマメ | 百粒重   | 64.9%          | 95      | 95   | 88(75) | 連作2年目から低下         |
| コムギ    | 千粒重   | 35.6%          | 101     | 103  | 95(86) | 連作4年目から低下         |

各品質項目の4年輪作4a系列に対する各輪作年限系列の比の平均値を表示した。ただし、連作区のみ( )内に最大値の比を表示した。  
本表では、前作物間の影響が小さいことから輪作年限ごとの平均値を使用した。バレイショでは前作がテンサイの場合のみ、3年輪作99、交互作用96とやや低下した。

(2) 気象条件と圃場連輪作試験における作物収量反応の関係

試験期間の一定時期の日平均積算気温および降水量と、連作、交互作および3年輪作の作物収量反応との関係を回帰分析により検討した結果(表Ⅲ-11)、いずれの作物においても時期別および処理区別で有意な関係は認められなかったためデータを省略した。なお、テンサイでは4a系列の低収年は試験5, 6, 9, 10年目、バレイショでは6, 10年目、インゲンマメでは9, 10年目、秋播コムギは低収年が8, 9年目、高収年が6年目であった。しかし、これらの年次においても、各作物の連作、短期輪作年限区が、4年輪作区に比べ特に低収を示す傾

向は認められなかった。

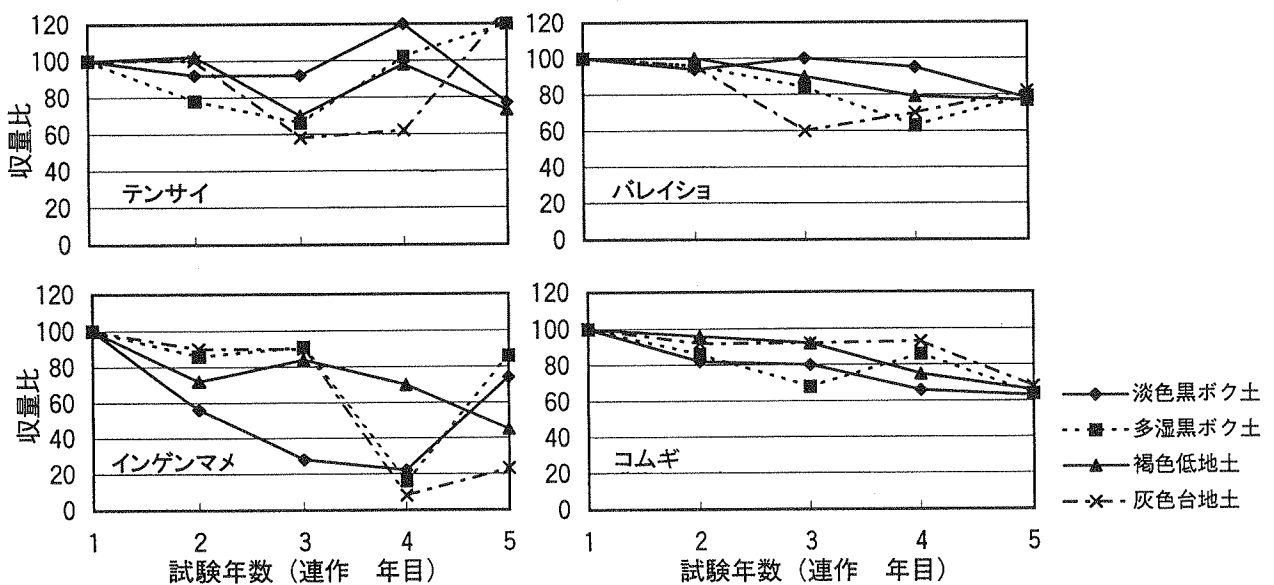
2) 異なる4土壌を用いた枠圃場連輪作試験における作物収量反応

異なる4土壌における4年輪作に対する連作区の収量反応を作物別に検討する(図Ⅲ-1)。まずテンサイでは、淡色黒ボク土における明瞭な収量低下は認められなかったが、多湿黒ボク土では連作2年目より減収し、3年目で30%減収した。褐色低地土においては30%程度減収する年次があるものの、全般に減収率は小さかった。灰色台地土では連作3年目で40%減収するなど最も減収率が大きかった。バレイショでは、淡色黒ボク土における減収は連作4年目まで認められず5年目で20%程度であり、全般に減収率は小さかった。多湿黒ボク土および灰色台地土では連作4年目で大きく40%程度減収した。インゲンマメでは淡色黒ボク土において連作2年目で40%程度激しく減収し、連作4年目で最低となったが、5年目に回復した。褐色低地土では連作2年目より漸減し、5年目で60%程度減収した。一方、多湿黒ボク土、灰色台地土では連作3年目まではほとんど減収は認められないが、4年目で著しく減収した。淡色黒ボク土、褐色低地土ではインゲン根腐病が多発生した。また、観察の結果、連作4年目以降に多湿黒ボク土と灰色台地土で著しく減収したのは、アフアノミセス根腐病による生育初期の立ち枯れがその原因と考えられた。コムギはいずれの土壌においても漸減し、連作5年目で30%程度減収するが、土壌間の差は小さかった。

表Ⅲ-11 連作および短期輪作における作物収量反応と気象条件との相関を分析した時期

| 作物名    | 収量比との相関を分析した積算気温と降水量数値の時期*    |
|--------|-------------------------------|
| テンサイ   | 4下~10月<br>4中~8月上旬<br>5~9月     |
| バレイショ  | 4中~8月上旬<br>5中~8月上旬<br>5中~8月下旬 |
| インゲンマメ | 5中~8月上旬<br>5中~8月下旬<br>5中~9月上旬 |
| コムギ    | 4上~7月下旬<br>前年9~11月<br>当年12~3月 |

\*各処理区の4a系列に対する収量比と各分析項目の単回帰、重回帰分析を行った。



図Ⅲ-1 異なる4土壌を用いた連輪作試験における連作収量反応\* \*4年輪作に対する収量比で示した。



以上を通覧すると、連作区における減収率は、連作5年目までの試験結果ではあるが、淡色黒ボク土においてはインゲンマメ>コムギ>バレイショ≧テンサイの順であり、圃場連輪作試験の結果とほぼ一致した。一方、各種土壌条件下において、連作3年目までは、全般にテンサイ、バレイショでは多湿黒ボク土、灰色台地土で比較的減収率が大きいのにに対し、インゲンマメでは淡色黒ボク土、褐色低地土、コムギでは淡色黒ボク土および多湿黒ボク土で大きいことが特徴的であった。しかし、この傾向は連作年数の継続にともない不明瞭となった。

## 第2節 連作・短期輪作による土壌化学性の変動および主要土壌病害の発生

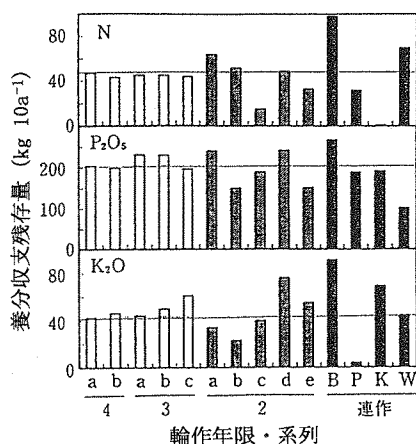
各種の作付様式における作物の生産性に関する要因、すなわち連作、短期輪作による減収程度と土壌養分の変動、連作障害の発生の関係把握が重要と考え、本節ではこれらに関する調査を行った。

### 1. 実験方法

連輪作試験圃場の養分収支は、施肥による養分投入量から収穫部位中の持ち出し量を差し引いて算出した。持ち出し量は、各作物の平均的な収量時における収穫部位の養分含有率および乾物重から換算し、10年間分を合計し、インゲンマメについては圃場より搬出された茎葉分も含まれる。また、その他の土壌化学性、主な土壌病害については第II章に示した調査分析方法によった。

### 2. 実験結果

#### 1) 圃場連輪作試験の各種作付様式における養分収支



図III-2 各種作付様式における試験10年目の養分収支残存量\*

\*それぞれの4a系列に線を引いた。

系列名 4a: テンサイ (B) - バレイショ (P) - インゲンマメ (K) - コムギ (W), 4b: B-K-P-W, 3a: B-P-K, 3b: B-K-P, 3c: K-W-B, 2a: B-P, 2b: W-P, 2c: P-K, 2d: B-K, 2e: W-K.

各作物で施肥による養分投入量が異なることを前提にした上で、施肥量と収穫後に圃場に還元しなかった作物体の養分吸収量から算出した養分収支の変動を各系列ごとに、まず窒素についてみると(図III-2)、養分残存量は全系列でプラスであったが、4年輪作2系列、3年輪作3系列は43~47kg10a<sup>-1</sup>程度でほぼ同様であった。交互作用では全系列とも持ち出し量に差はほとんど認められないが、施肥窒素の投入量が異なるので、テンサイ-バレイショ (B-P)、テンサイ-インゲンマメ (B-K)、コムギ-バレイショ (W-P) で4a系列と収支は同等かやや多く、コムギ-インゲンマメ (W-K) でやや少なく、バレイショ-インゲンマメ (P-K) では極めて少なかった。連作区ではテンサイとコムギで残存量が多く、バレイショではやや少なかった。インゲンマメの持ち出し量は著しく多いが、根粒による窒素固定も見込まれるため、見かけほど残存量が少ないわけではない。これらのことから交互作用、連作においていずれもプラスではあるが、投入量の少ないインゲンマメおよびバレイショの作付によって窒素収支の残存量は減少する傾向にあった。

リン酸は、いずれもかなりのプラスであるが、投入量の少ないコムギの作付によって、交互作用、連作で残存量は少なかった。

カリも各系列でプラスであるが、持ち出し量が窒素よりも大きく変動した。4年輪作2系列間では収支は同等で、バレイショの入らない3c系列では投入量は少ないが、持ち出し量もかなり少なく、収支はやや増加した。交互作用でもバレイショの入った系列で収支が少ない傾向にあり、コムギ-バレイショ (W-P)、テンサイ-バレイショ (B-P) での収支が小さかった。連作区ではバレイショの収支がほぼ均衡していた。

#### 2) 圃場連輪作試験の各種作付様式における土壌化学性の変動

各種作付様式下の土壌化学性の変動について、試験開始9年目の主要な化学性を示した(表III-12)。本圃場は熱水抽出N(以下、熱抽N)が少なく、交換性石灰、苦土がかなり少ない圃場であった。4a、4b系列は、4作物4枚の圃場を平均した。4年輪作間2系列間では、作物ごとに多少の変動はあるが、大きな差は認められなかった。次に養分収支で4年輪作と差があった交互作用区、連作区をみると、テンサイ-バレイショ (P-B) の交互作用は4年輪作に比べ大きな差はなかった。コムギ-バレイショ (W-P) は、pHが低下し、カリは減少するようであり、休閑土に近づくかまたはそれを下回った。

表Ⅲ-12 各種作付様式における試験開始9年目の一般土壌理化学性

| 系列                 | 試験区 <sup>1)</sup><br>(作物名) | pH   | T-C<br>(g 100g <sup>-1</sup> ) | T-N<br>(g 100g <sup>-1</sup> ) | C/N<br>(%) | 熱水抽出N<br>(mg 100g <sup>-1</sup> ) | トルオグ<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(mg 100g <sup>-1</sup> ) | 交換性塩基<br>(mg 100g <sup>-1</sup> ) |      |      |
|--------------------|----------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|------|------|
|                    |                            |      |                                |                                |            |                                   |   | K <sub>2</sub> O                  | CaO  | MgO  |
| 4a                 | テンサイ                       | 6.2  | 2.11                           | 0.23                           | 9.2        | 3.3                               | 7.2   | 17.7                              | 61   | 13.5 |
|                    | バレイショ                      | 6.3  | 2.03                           | 0.20                           | 10.2       | 3.9                               | 5.7   | 21.9                              | 71   | 15.0 |
|                    | インゲンマメ                     | 6.4  | 2.15                           | 0.23                           | 9.3        | 4.2                               | 6.6   | 18.9                              | 74   | 16.4 |
|                    | コムギ                        | 6.3  | 2.22                           | 0.22                           | 10.1       | 3.4                               | 5.2   | 15.1                              | 80   | 13.0 |
|                    | 4a平均                       | 6.3  | 2.13                           | 0.22                           | 9.7        | 3.7                               | 6.2   | 18.4                              | 72   | 14.5 |
| 4b                 | テンサイ                       | 6.3  | 2.01                           | 0.15                           | 13.4       | 3.5                               | 6.6   | 17.8                              | 75   | 11.0 |
|                    | バレイショ                      | 6.4  | 2.12                           | 0.18                           | 11.8       | 3.5                               | 8.1   | 21.6                              | 68   | 15.7 |
|                    | インゲンマメ                     | 6.3  | 2.00                           | 0.15                           | 13.3       | 2.8                               | 5.7   | 21.9                              | 75   | 14.7 |
|                    | コムギ                        | 6.3  | 2.07                           | 0.22                           | 9.4        | 2.5                               | 7.0   | 28.4                              | 76   | 15.7 |
|                    | 4b平均                       | 6.3  | 2.05                           | 0.18                           | 12.0       | 3.1                               | 6.8   | 22.4                              | 74   | 14.3 |
| 2                  | テンサイ (B-P)                 | 6.5  | 2.11                           | 0.23                           | 9.1        | 3.1                               | 6.3   | 19.5                              | 68   | 17.2 |
|                    | コムギ (W-P)                  | 5.9  | 2.10                           | 0.20                           | 10.4       | 3.3                               | 7.2   | 14.9                              | 66   | 7.1  |
|                    | テンサイ (B-K)                 | 6.3  | 2.16                           | 0.21                           | 10.3       | 3.5                               | 6.3   | 25.6                              | 76   | 19.1 |
|                    | バレイショ (P-K)                | 6.4  | 2.11                           | 0.21                           | 10.2       | 3.1                               | 4.8   | 15.9                              | 81   | 17.1 |
|                    | コムギ (W-K)                  | 6.0  | 2.18                           | 0.22                           | 9.8        | 3.3                               | 4.6   | 19.8                              | 65   | 9.1  |
| 連作                 | テンサイ                       | 6.1  | 2.28                           | 0.23                           | 9.9        | 4.5                               | 7.7   | 31.2                              | 58   | 26.6 |
|                    | バレイショ                      | 6.4  | 2.11                           | 0.19                           | 11.4       | 3.0                               | 5.0   | 15.4                              | 85   | 15.9 |
|                    | インゲンマメ                     | 6.3  | 2.13                           | 0.20                           | 10.7       | 3.2                               | 9.0   | 22.2                              | 74   | 20.2 |
|                    | コムギ                        | 5.8  | 2.38                           | 0.24                           | 10.1       | 4.0                               | 4.8   | 16.6                              | 63   | 6.2  |
| 休閑土壌 <sup>2)</sup> | 6.6                        | 2.15 | 0.22                           | 9.9                            | 1.8        | 1.2                               | 14.1  | 88                                | 11.7 |      |

\*1993年10月下旬の数値

1) 4b系列のインゲンマメ跡、4a系列のバレイショ跡および連作区のコムギは既に作付済み。

2) 休閑土壌：試験区に隣接する土壌で毎年耕起のみを繰り返した。

カリの減少傾向は養分収支のそれと一致した。テンサイ-インゲンマメ (B-K) では、カリがやや多く、バレイショ-インゲンマメ (P-K) ではリン酸、カリが減少する傾向であり、コムギ-インゲンマメ (W-K) ではリン酸が減少する傾向であった。

しかし、これら交互作用の熱抽出Nの変動は明瞭でなかった。連作区のテンサイでは、全炭素が増加する傾向であり、また熱抽出N、リン酸、カリもやや増加した。バレイショでは熱抽出N、リン酸、カリがやや減少し、とくにカリは休閑区のそれに近づいた。インゲンマメではリン酸がやや高まる他は変動せず、コムギではpHが低下し、全炭素が高まり、熱抽出Nがやや増加し、リン酸が減少した。これらの化学的分析値の変動は前項の養分収支の傾向をほぼ反映していた。

### 3) 各作物の主要土壌病害の発生

テンサイ根腐病は交互作まで増加せず、連作区で増加する傾向を示した。前作物による差は明瞭でなかった (表Ⅲ-13)。また褐斑病は詳細データを省略するが、交互作までは増加せず、連作区で増加する傾向にあった。

バレイショそうか病は、試験開始3年目より発生が認められ、4年輪作でも発生しているが、指数1以内で推移した。連作区では試験開始4年目頃から明瞭であり、その後著しく増加した。3年輪作ではテンサイ跡に作付される3a(B)系列でやや増加傾向にあり、交互作でも、前作がテンサイの2(B)では明かに増加した。3年輪作、交互作用ともに前作物がコムギ、インゲンマメの場合は4年輪作と差がなかった (表Ⅲ-14)。なお、病徴はほとんど通常型または隆起型であり、本圃場の優占菌種は十勝農試病虫科の調査では孢子鎖が直~波状型菌群である *Streptomyces turgidiscabies* と同定された。黒あざ病は詳細データを省略するが、試験開始2年目より発病茎が認められ、その後明瞭な増加を示さないが、試験9年目頃から連作区で増加する傾向にあった。

インゲン根腐病の発生は、試験開始2年目から認められており (表Ⅲ-15)、連作区では5年目まで根褐変 (写真2a, b) が激しかったが、その後やや回復した。交互作用、3年輪作での発生はかなり改善された。交互作用では当初、前作物がコムギの2(W)区が他区に比べ多かった、その後他区との差は小さくなり、試験8年目ごろか

表Ⅲ-13 各種作付様式におけるテンサイ根腐病の発生

| 試験区<br>(前作) | 試験開始年数・年次 |     |     |     |      |      |
|-------------|-----------|-----|-----|-----|------|------|
|             | 5         | 6   | 7   | 8   | 9    | 10   |
| 4a(W)       | 0         | 0   | 0   | 0   | 0    | 3.3  |
| 4b(W)       | 0         | 3.3 | 0   | 0   | 0    | 0    |
| 3a(K)       | 0         | 5.0 | 0   | 0   | 1.7  | 0    |
| 3b(P)       | 6.7       | 0   | 0   | 3.3 | 0    | 0    |
| 3c(W)       |           | 0   | 0   |     | 0    | 0    |
| 2(P)        | 0         |     | 0   |     | 1.7  |      |
| 2(K)        | 3.3       |     | 0   |     | 1.7  |      |
| 連作          | 10.0      | 3.3 | 3.3 | 6.7 | 10.0 | 10.0 |

表Ⅲ-14 各種作付様式におけるバレイショそうか病の発生

| 試験区<br>(前作) | 試験開始年数・年次 |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|             | 3         | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| 4a(B)       | 0.6       | 0.3 | 0   | 0   | 0   | 0.8 | 0.8 | 0.5 |
| 4b(K)       | 0.2       | 0.5 | 0.5 | 0   | 0.9 | 0.7 | 0.8 | 0.5 |
| 3a(B)       | 0.4       | 0.5 | 0   | 1.2 | 0.8 | 0.7 | 1.0 | 0.9 |
| 3b(K)       | 0         | 0   | 0.5 | 0   | 0.2 | 0.7 | 0.3 | 0.1 |
| 2(B)        |           | 1.5 |     | 1.0 |     | 2.2 |     | 2.8 |
| 2(K)        |           | 0.3 |     | 0   |     | 0   |     | 0.2 |
| 2(W)        |           | 0   |     | 0   |     | 0.7 |     | 0.3 |
| 連作          | 0         | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 2.8 | 3.2 | 3.6 |

1) 収穫期根部調査

2) てん菜病害調査基準による発病株率 (%) で表示した。

1) 収穫期調査

2) そうか病調査基準による指数で表示した (0~5)。粒大別に調査し加重平均した。

表Ⅲ-15 各種作付様式におけるインゲン根腐病の発生

| 試験区   | 試験年数・年次 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 2       | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| 4a(P) | 1.33    | 0.37 | 0.67 | 1.24 | 1.46 | 0.53 | 0.73 | 0.95 | 1.56 |
| 4b(B) | 0.33    | 0.33 | 0.53 | 1.14 | 1.57 | 0.78 | 0.46 | 0.55 | 1.56 |
| 3a(P) | 1.33    | 0.23 | 1.27 | 0.98 | 1.33 | 2.12 | 0.88 | 0.95 | 1.99 |
| 3b(B) | 0.33    | 0.50 | 0.73 | 1.02 | 1.53 | 2.09 | 0.80 | 1.13 | 1.95 |
| 3c(B) | 0.33    |      | 0.72 | 1.60 |      | 1.52 | 0.87 |      | 1.72 |
| 2(B)  | 0.33    |      | 0.81 |      | 1.63 |      | 1.33 |      | 1.83 |
| 2(P)  | 1.33    |      | 1.16 |      | 2.17 |      | 1.55 |      | 1.75 |
| 2(W)  | 1.67    |      | 1.54 |      | 1.88 |      | 1.14 |      | 1.63 |
| 連作    | 2.67    | 2.90 | 2.93 | 2.88 | 2.15 | 2.15 | 2.10 | 1.90 | 2.13 |

1) 6月下旬調査、86年のみ7月中旬調査。86年は前作を異にする試験区のみ。

0(健全)→4(激)の根褐変指数で表示した。第Ⅱ章参照。

ら改善される傾向にあった。3年輪作では、前作物がテンサイでバレイショよりもやや軽減される傾向にあった。4年輪作でも発生が認められるが、根褐変指数は小さく、それほど収量に影響を受けないと推察された。地際の胚軸部からは、第Ⅱ章で述べたように *F. solani* f. sp. *phaseoli* および *F. oxysporum* が分離された。

コムギは雪腐病が多発生する試験年次 (8, 10年目) に、連作区の減収程度が著しかった。10年目の場合、連作区では褐色小粒が多く、黒色小粒も少発生した。表に記載していないが、9年目の交互作区での発生は、バレイショ跡、インゲンマメ跡とも0.5程度の指数であり、前作物との関係は明瞭でなかった。また連作区では根基

部に褐変が多く認められた。条斑病は連作区でわずかに発生した。その他、連作区においては試験年次半ばから茎数の減少、短稈化がとくに減収程度の激しい年次で認められ、無効茎も増加した (表Ⅲ-16)。

表Ⅲ-16 各種作付様式におけるコムギ雪腐病, 条斑病ならびに他の生育障害の発生程度

| 試験区<br>(前作) | 雪腐病       |         |          | 10年目(94年) 調査 |          |    |                     |                    |                          |              |
|-------------|-----------|---------|----------|--------------|----------|----|---------------------|--------------------|--------------------------|--------------|
|             | 年数・年次     |         |          | 同10年日内訳      |          |    | 収穫期                 |                    |                          |              |
|             | 8<br>1992 | 9<br>93 | 10<br>94 | 褐色<br>小粒     | 黒色<br>小粒 | 紅色 | 4月<br>根基部<br>株率 (%) | 7月<br>条斑茎<br>率 (%) | 茎数<br>(/m <sup>2</sup> ) | 無効茎<br>率 (%) |
| 4a(K)       | <0.5      | <0.5    | 0.5      | 少            | -        | 少  | 7.1                 | 0                  | 584                      | 2.5          |
| 4b(P)       | <0.5      | 0.7     | <0.5     | 微            | -        | 少  | 2.5                 | 0                  | 522                      | 2.7          |
| 連作          | 1.6       | 1.1     | 1.5      | 多            | 少        | 少  | 37.5                | 0.7                | 427                      | 9.8          |

1) 雪腐病指数は病害虫発生調査基準による。畦ごとに調査し平均した。

### 第3節 考察

#### 1) 主要畑作物の連作および輪作年限短縮による収量反応の特徴ならびに輪作年限と作付組み合わせの関係 (1) 淡色黒ボク土および各種土壌における輪作年限の短縮による作物収量反応

各作物の輪作年限短縮による収量反応性について、品種、年次、土壌の違いを考慮するために、既往の連輪作試験結果<sup>42, 49)</sup>を比較に用いて論議する。

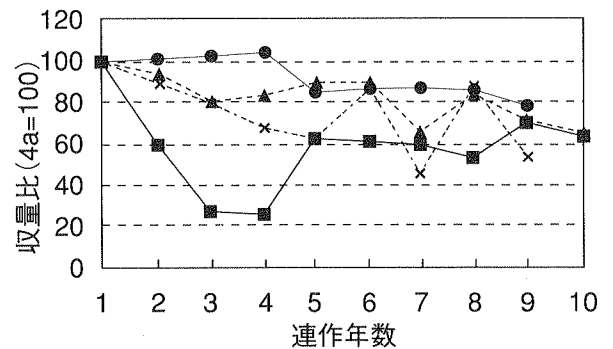
テンサイは、本試験(品種モノエースS)では開始10年目までに、3年輪作系列でやや減収する年次を認め、連作区での平均減収率は9%(連作5~9年目は14~22%)であった。連作区のこの数値は十勝農試において以前に行われた異なる品種(ソロラーベ)を供試した連輪作試験結果<sup>49)</sup>とほぼ一致している。一方、北見農試で行われた長期連輪作試験(以下、北見長期連輪作と略称<sup>42)</sup>)のテンサイは直播栽培であるが、開始10年間の結果をみると、4~6年輪作の差は小さく、3年より短い輪作年限で、試験2年目より減収し、連作区では11~47%と減収が大きく認められている。移植栽培の連輪作試験結果(品種ポリラーベ)(以下、北見短期輪作と略称<sup>49)</sup>)では、3年輪作から減収し、連作区も減収開始年次が早く、開始から10年間の平均で15%の減収が認められるなど、本試験結果よりやや大きな減収傾向が認められた。

バレイショは、本試験(ワセシロ)では、前作物によって収量が変動するが、3年輪作までは減収せず、連作区では当初から減収傾向であり、その平均減収率はテンサイより大きく、20%(最大35%)であった。北見長期連輪作(紅丸)では堆肥を2t 10a<sup>-1</sup>施用しており、同一の比較はできないが、連作3年目まで減収せず、4年目から減収し、以降10年目までに平均10%減収した。

インゲンマメは、本試験では3年輪作から減収し、連作区では当初から根腐病のために著しい減収傾向を示

し、10年間の平均減収率は47%であった。北見短期輪作の開始10年間は、3年輪作で減収しなかった。北見長期連輪作は6年輪作と連作区のみであるが、連作区では2年目から著しい減収を示し、4年目に最大となり、その後回復傾向にあった。ただし減収程度は本試験より小さかった。

コムギは、本試験(チホクコムギ)では3年輪作まで減収しないが、連作区では冬枯れ多発年の減収が著しく、平均減収率は25%であった。北見長期連輪作(ホクエイ)は4年以下の輪作区がないが、連作区ではほぼ同様の減収傾向を示した。



図Ⅲ-3 各作物の連作による収量反応

4a系列の収量を100とした比で表示した。テンサイ、コムギの連作年数は一年少ない。  
●テンサイ ▲バレイショ ■インゲンマメ ×コムギ

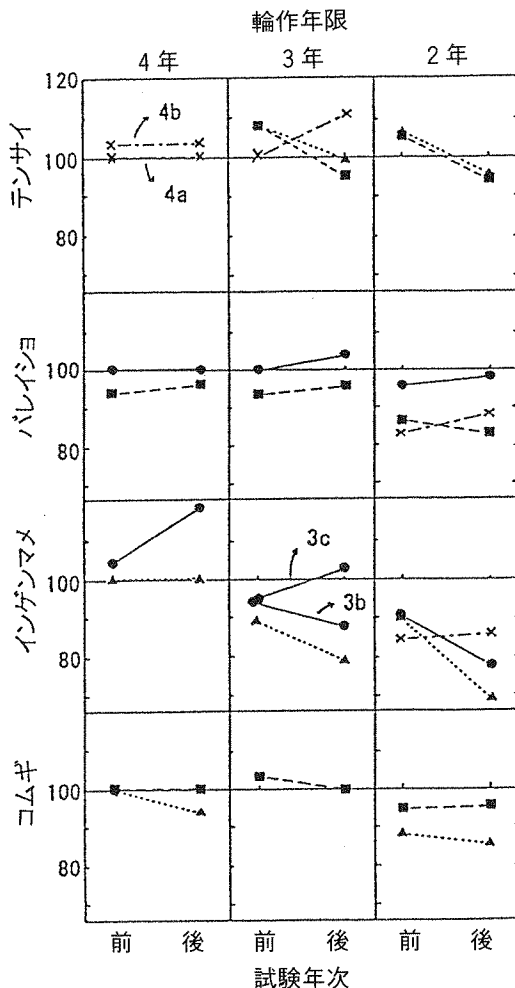
以上の結果から、連作、交互作による減収率は、一般にインゲンマメ>コムギ>バレイショ>テンサイの順であるが(図Ⅲ-3)、本研究では異なる4土壌を用いた連作試験も併せて実施しており、土壌の違いを考慮して連作による主要作物の収量反応性をみている。テンサイの多湿黒ボク土における試験結果は、同じ腐植質の多湿黒ボク土の北見農試で行われた結果とほぼ同様の傾向を示し、淡色黒ボク土に比べやや減収率が大きい。また、バレイショは、多湿黒ボク土および灰色台地土では、淡色黒

ボク土に比べやや大きな減収率を示しており、バレイシヨは、一般に連作に強い作物とされているが<sup>42, 104)</sup>、本研究では一概に強い作物と結論づけることはできなかった。北見長期連輪作試験では、連作による大きな減収は認められていないが、同試験ではバレイシヨおよびテンサイに対しては2 t 10a<sup>-1</sup>の堆肥が施用されているために、バレイシヨの減収率が小さかったとも推測できる。

地域間での連作反応の傾向に差異が生ずる要因として、品種や試験年次が異なり、また土壌病害の発生度合が土壌によって異なることなどが推察される<sup>143)</sup>。本研究においては試験年の気象の影響は認められず、北見、十勝地方におけるほぼ同様の作付様式で行われた試験からも、品種、試験年次による差は小さいと考えられる。しかし、根菜類と穀実作物の連作反応が土壌間で異なり、たとえばテンサイやバレイシヨが湿性型の土壌での減収率が大きかったことに関しては、土壌の乾湿、腐植の程度が連作反応の土壌間差異として発現した可能性もある。これについて、①施肥、有機物施用による根菜類の品質低下が湿性型土壌で大きく<sup>129)</sup>、根の生育不良が冷

害時に助長される恐れがある<sup>48)</sup>、②根菜類に対する有機物施用は土壌病害を助長し、商品価値を低下させる傾向が強いと概括されている<sup>102)</sup>、③たとえば水媒伝染性病害といわれるAphanomyces属菌による連作障害がテンサイで認められ<sup>147, 148)</sup>、本菌は湿性型の土壌で発生しやすい<sup>3, 4)</sup>いことなど、いくつかの現象から土壌の水分環境とそれに関与する腐植、有機物が、とくに地下部を収穫部位とする根菜類に対して生育、病害の面で影響しやすいと類推しうる。いずれにしても、主要畑作物の連作収量反応に土壌間差異が存在することが認められ、土壌、作物別に詳細な減収要因の解明が必要である。

以上、本研究の結果などから、北海道の畑作地帯において、連作を10年間程度続けた場合の各作物の平均的な減収率は、テンサイで10~15%、バレイシヨで10~20%と、4作物の中では比較的減収率が小さく、次にコムギで25%程度であり、インゲンマメは50%程度と最も減収率が大きく、バレイシヨについては、ある程度連作には弱い作物である認識を持つ必要がある。



図III-4 各作物の収量におよぼす輪作年限、前作物の影響

試験年次を前期(1986~89), 後記(1990~94)に分け、収量を平均し、それぞれの4a系列を100として、前作物別に表示した。同一の前作物で系列が異なる場合には図中に系列中を記載した。

前作物名：●テンサイ, ▲バレイシヨ, ■インゲンマメ, ×コムギ

系列名 4a : テンサイ(B)-バレイシヨ(P)-インゲンマメ(K)-コムギ(W), 4b : B-K-P-W, 3a : B-P-K, 3b : B-K-P, 3c : K-W-B, 2a : B-P, 2b : W-P, 2c : P-K, 2d : B-K, 2e : W-K.

表Ⅲ-17 連輪作試験における作付様式別の各作物の収量比\*

| 系列 | 作付様式    | 前期(1986-89) |     |     |     | 後期(1990-94) |     |     |     | 平均  |
|----|---------|-------------|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|
|    |         | B           | P   | K   | W   | B           | P   | K   | W   |     |
| 4b | B-K-P-W | 103         | 94  | 104 | 99  | 103         | 96  | 119 | 93  | 101 |
| 3a | B-P-K   | 108         | 100 | 89  | -   | 95          | 103 | 79  | -   | 96  |
| 3b | B-K-P   | 107         | 93  | 94  | -   | 99          | 96  | 88  | -   | 96  |
| 3c | K-W-B   | 101         | -   | 95  | 102 | 112         | -   | 103 | 100 | 102 |
| 2a | B-P     | 106         | 96  | -   | -   | 95          | 98  | -   | -   | 99  |
| 2b | W-P     | -           | 82  | -   | 88  | -           | 88  | -   | 85  | 86  |
| 2c | P-K     | -           | 87  | 90  | -   | -           | 83  | 68  | -   | 82  |
| 2d | B-K     | 104         | -   | 91  | -   | 94          | -   | 78  | -   | 92  |
| 2e | W-K     | -           | -   | 85  | 94  | -           | -   | 87  | 95  | 90  |

\*4a系列の値を100とした比で表示した。

作物、系列名は図Ⅲ-4に同じ。

空欄は試験区なし

表Ⅲ-18 輪作年限と前作物が各作物の収量におよぼす影響

| 作物     | 輪作年限短縮<br>に対する<br>減収率(%)* | 前作物の差異<br>による<br>収量変動率(%) | 両者の影響<br>(絶対値)<br>の関係 |
|--------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| テンサイ   | -6                        | 5                         | 輪作年限≧前作物              |
| バレイショ  | -11                       | 13                        | 輪作年限<前作物              |
| インゲンマメ | -17                       | 11                        | 輪作年限>前作物              |
| コムギ    | -10                       | 8                         | 輪作年限>前作物              |

\*4年輪作から交互作に年限を短縮した場合の減収率

## (2) 短期輪作年限および作付順序を異にする条件下での作物収量変動

本研究では、輪作年限の検討とともに前後作の作付組み合わせにも注目して収量反応の検討を行った。以下に作物別にこれらの特徴を整理する。なお、いずれの作物においても、程度の差はあるが輪作年限の短縮により経年的に減収する傾向にあり、試験年次の前期と後期で異なる様相を示す作物が認められたため、図Ⅲ-4には試験年次の前期4年間と後期5年間に分けて示した。

テンサイの前作物としては、試験の前期ではコムギよりインゲンマメ、バレイショが高収をもたらしたが、後期に至ると、コムギの方が収量性が高まり、全般を通してみると、コムギ>インゲンマメ=バレイショとなった。しかし、テンサイは前作物の影響を大きくは受けなかった。バレイショの前作物としては、テンサイで常に高く、インゲンマメの場合には低収で、バレイショに対する前作物の影響は大きかった。インゲンマメの前作物としては、テンサイで大きく増収し、バレイショの場合に小さく、コムギとは交互作系列しかないが、後期ではその前作としての効果がテンサイに近づき収量が増加するなど、インゲンマメも前作物によって大きな影響を受けた。コムギの前作物としては、バレイショの場合にインゲンマメよりも低収となった。

輪作年限の影響を加味して、作付様式別の収量比を比

較してみると(表Ⅲ-17)、交互作ではいずれの作物、系列も収量が低下するが、テンサイおよびコムギを含む様式での減収程度が比較的小さく、3年輪作でもインゲンマメ-コムギ-テンサイ(3c)の系列を除き、明かに低収を示したが、同系列では試験の後期に4年輪作の各作物の収量を上回ることが多かった。コムギを含まないテンサイ、バレイショ、インゲンマメによる3年輪作の他の2系列(3a, 3b)は、4年輪作に比べ低収となった。しかし、この2系列では、個々の作物は前作物の影響を受け、バレイショは前作がテンサイの場合に4年輪作と同等であり、インゲンマメは前作がテンサイで高収となるが輪作年限短縮の影響を受け4年輪作には及ばなかった。4年輪作の2系列間の収量比はほぼ同等であるが、作物別には前作物の影響を受け2つの系列には差が認められた。

これらの結果から、輪作年限と前作物の違いが作物別の収量におよぼす影響をまとめた(表Ⅲ-18)。前作物が後作物の収量におよぼす影響は、輪作年限の短縮による影響より小さい場合が多いが、作物によっては、輪作年限よりも前作物による影響のほうが大きい場合もあった。テンサイは輪作年限による変動が4作物のなかでは小さく、前作物による変動も小さかった。一方、インゲンマメは輪作年限の影響をかなり大きく受け、前作物の違いでも変動が大きかった。バレイショの収量に対する

輪作年限の影響はインゲンマメより少ないがテンサイより大きく、前作物の影響の方が輪作年限よりも大きかった。コムギはそれらの中間に位置し、輪作年限の影響も受けるとともに前作物による差も認められた。以上のように、輪作体系下の作物の収量は輪作年限とともに前作物の影響を受け、その程度は作物によって異なっていた。

## 2) 土壌化学性および土壌病害からみた連輪作下の収量反応の支配要因

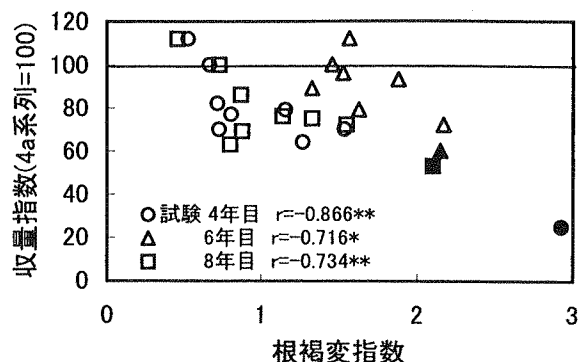
短期輪作および連作による作物の収量支配要因には、土壌病虫害、土壌微生物相の変動、土壌養分の過不足、土壌酸性化、物理性の悪化（耕盤層の形成など）など様々な要因があると考えられている<sup>122)</sup>。本連輪作試験では、これらの要因のなか、たとえば、土壌の物理性悪化については同一試験条件であることによって除外できよう。

3要素の養分収支は、各作物で適正な収量を得るための施肥投入量が異なることに留意しなければいけないが、作付様式間ではいずれもほぼプラスであり、3年輪作までは4年輪作とほぼ同等の養分残存量であった。交互作用以下になると、テンサイで窒素、カリ（+の影響）、バレイショで窒素、カリ（-）、インゲンマメで窒素（-）、コムギで窒素（+）、リン酸（-）の影響がそれぞれ認められた。これらは、土壌化学性の分析値にある程度反映され、その変動は作物による養分収奪性の差異および収穫後の残渣物などによる有機物の蓄積によるものと理解された。輪作年限の短縮にともなってこれらの土壌化学性の測定値が低下する場合、バレイショやコムギのように作物の減収との関連を否定できないが、本試験は標準量の施肥を行っていることに加えて、土壌診断基準の化学性測定値と収量との一般的な関係から考えると、土壌化学性もたらず減収の影響はそれほど大きくないと推察された。このことは、各作物の連作区で、むしろ蓄積傾向にある養分がいくつか認められることから推察できる。ただし、テンサイ跡の各作物がいずれも増収傾向にあることは、テンサイの窒素収支の残存量が他の作物に比べ大きいことが関与していると推定される。

本研究では各作物の土壌病害をいくつか調査したが、テンサイ根腐病やインゲン根腐病およびコムギ雪腐病のように、茎葉の萎凋あるいは吸収根の生育阻害によって直接減収に関与するものもあれば、バレイショそうか病のように発生の多少と収量との間には直接関係がないものもあるため、個々の作物について収量におよぼす土壌病害の明確な解析は行えなかった。しかし、一例としてインゲンマメの場合についてみると、インゲン根腐病と

収量の間には明瞭な負の相関関係があり（図Ⅲ-5）、減収の主要因と考えられた。収量低下とこれら土壌病害の発生程度との関連は、テンサイ、インゲンマメおよびコムギの連作による低収化要因として、大きく関与していたと推定される。

以上のように、土壌病害の観点から各作物について詳細な減収要因は把握しきれないが、輪作体系下の土壌微生物特性を地力の変動実態ならびにそれと土壌病害発生の関連を把握する上で、明らかにする必要がある。



図Ⅲ-5 インゲン根腐病の発生と収量指数の関係  
図内の数字は相関係数 黒印は各年次の連作区

## 第4節 まとめ

テンサイ、バレイショ、インゲンマメ、コムギの主要4作物を供試して、4年輪作を対照とした作物の組み合わせを異にする各種の短期輪作が収量、品質におよぼす影響を評価し、より多様な輪作体系への指針を提示した。

### 1) 作物収量と品質におよぼす輪作年限の影響

- (1) インゲンマメとテンサイでは3年以下の輪作と連作、バレイショ、コムギでは交互作用と連作で減収し、2~10年間の連作による平均減収率は、インゲンマメ（47%）>コムギ（25%）>バレイショ（20%）>テンサイ（9%）であった。収量からみた適正な輪作年限はインゲンマメとテンサイで4年、バレイショとコムギで3年以上であった。
- (2) テンサイの根中糖分、インゲンマメの百粒重は3年輪作で、コムギの千粒重は交互作用と連作で減少した。バレイショのでんぷん価の低下は認められなかった。
- (3) 土壌を異にした連作試験の結果、湿性型の多湿黒ボク土、灰色台地土に比べ、乾性型の淡色黒ボク土ではテンサイ、バレイショなど根菜類作物の減収率は小さかった。

## 2) 前作物の違いが後作物の収量におよぼす影響

- (1) テンサイ収量は前作物による差が小さく、バレイシヨでは前作がテンサイの場合に高く、インゲンマメの場合に低く、コムギの場合には輪作回数の後期に高まった。インゲンマメでは前作がテンサイの場合に収量は高く、バレイシヨの場合に輪作回数の後期に低下し、コムギの場合にも後期にやや高まった。コムギでは前作がバレイシヨの場合に低く、インゲンマメの場合に高かった。
- (2) 前作物が後作物の収量におよぼす影響は、バレイシヨを除く各作物で輪作年限の差よりも小さいが、バレイシヨでは前作物の方が大きく、インゲンマメも前作物の影響を比較的大きく受けた。テンサイ、コムギは前作物の影響が小さかった。

## 3) 輪作年限と作付組み合わせからみた各種作付様式の収量性

- (1) 各種作付様式における収量性は輪作年限短縮と前作物の両者によって変動したが、テンサイおよびコムギを含む作付様式は、長期的には収量性が高かった。
- (2) このことから、輪作年限と作付様式の決定にあたっては、テンサイおよびコムギを作付様式に含み、前作物として配置するなど、個々の作物の適正な輪作年限と

もに前後作関係を十分考慮する必要がある。

## 4) 各種作付様式における収量反応の支配要因

- (1) 施肥量と収穫後に圃場に還元しなかった作物体の養分吸収量から算出した3要素の養分収支は、全作付様式でいずれもプラスであり養分残存量が多かったが、交互作と連作では導入される作物により異なった変動があり、作付様式の中にテンサイが入ると窒素残存量が増加し、バレイシヨでカリ残存量が減少、インゲンマメで窒素残存量、コムギでリン酸残存量が減少した。
- (2) これらの養分収支の影響は土壌化学性にも反映されたが、養分残存量が減少した場合でも、交互作と連作における減収の原因とは考え難かった。しかしテンサイの後作物の増収にはテンサイ茎葉の還元による大きな窒素残存量が関与したと推察される。
- (3) 主な土壌病害として、テンサイの連作で根腐病、バレイシヨの連作および3年以下のテンサイ跡でそうか病が多発した。コムギの連作では雪腐病が多発する年次で減収率が大きかった。インゲンマメでは連作および交互作、3年輪作で根腐病が多発し、根褐変指数と子実収量の間には負の相関が認められた。