

第Ⅶ章 総 合 考 察

近年、これまでの化学施肥重点技術を見直して、土壌生態系を重視し、それを最大限に活用する生態系調和型農業の確立が叫ばれている。土壌生態系の活用技術を開発することは、作物生産を確保しつつ耕地を保全し、ひいては環境保全を図ることが目的である。最近では、国内外で「Soil Health」あるいは「Soil Quality」を主題に土壌生物性の評価を試みる研究が少なくなく^{15, 103, 137)}、土壌微生物活性の維持、向上方策に対する関心が高まっている。

一方、北海道十勝地方などの大規模畑作地帯においては、様々な土壌管理上の問題、たとえば地力の低下傾向や、連作障害の発生が懸念される。その中で土壌微生物がどのように関与しているのか、どのような作付様式の土壌が微生物的に優れているのか、また、その微生物性制御の可能性などについての関心も高く、解明すべき課題が多い。

本研究では連輪作と土壌微生物をキーワードとし、主要な畑作物の連輪作による収量反応の特徴と連輪作下の土壌微生物特性の変動とその要因を明らかにし、作物生育におよぼす土壌微生物特性を評価した。これらの微生物特性評価に基づき、典型的な連作障害であるインゲン根腐病の発生下の土壌微生物特性を把握し、土壌微生物と病原菌の相互関係を整理するとともに、土壌理化学性の改善を含めた総合的なインゲン根腐病の生態的制御法について論議した。以上をまとめ、土壌微生物特性に視点を置いた効果的な輪作体系下の土壌管理法の指針を述べる。

1. 連輪作土壌の収量性と土壌微生物特性

本研究においては、微生物活性および微生物相を土壌微生物特性として捉え、まず、ここでは土壌微生物活性を畑輪作体系下の地力変動評価に活用することを目的とし、輪作年限と前作物（作付作物の組み合わせ）を異にした各種作付様式が収量性と土壌微生物特性におよぼす影響を検討した。輪作の意義の一つとして、養分吸収域の異なる作物の組み合わせによる土壌養分バランスの維持が挙げられる。本研究では輪作の土壌微生物的意義の一つとして、輪作に導入された作物根圏の微生物特性が、当作作物の栽培非根圏土壌および輪作年限を短縮して作付回数を増加させた場合の非根圏土壌などの微生物特性に影響することを明らかにした。

各種作付様式下の作物の収量反応についてみると、一

般に輪作年限を短縮すると作物は減収した。その程度は作物で異なり、淡色黒ボク土における減収率はインゲンマメで最も大きく、以下コムギ、バレイシヨ、テンサイの順であった（図Ⅲ-3, 4）。この結果は、北見農試の多湿黒ボク土で行われた長期連輪作試験結果⁴²⁾とおおむね一致し、北海道の代表的な畑作地帯における主要作物の連作反応が示された。ただし、腐植含有率、土性などの異なる4土壌を用いた各作物の連作試験では、テンサイとバレイシヨの減収率が多湿黒ボク土、灰色台地土でやや大きく、これらの根菜類作物では湿性型土壌での減収率が大きいことが類推された（図Ⅲ-1）。このような異なる土壌間における連作反応の差異の詳細な要因については今後の検討課題である。

一方、作物によっては前作物の違いが収量に大きく現れ、また短い輪作年限では作付の組み合わせの違いによって作付様式の収量性が変化した。すなわちバレイシヨでは輪作年限以上に前作物が収量に大きく影響し、インゲンマメでも前作の差かなり大きい。このことは、輪作年限を短縮した場合の減収率よりも前作の違いによる収量の増減程度が大きいことを意味する（表Ⅲ-18）。これについては、テンサイとコムギを前作にした場合の後作に対する効果、あるいはこれらの作物を作付様式に組み入れた場合の作付様式全体への効果が大きいといえる。したがって作付様式を決める際には、土壌の種類に対応して各作物の適正な輪作年限を念頭に置くだけでなく、作付組み合わせをも十分考慮することが望ましいといえる。

このような、収量性の異なる作付様式における土壌微生物特性について、2~10年間の連作および短期輪作を継続した場合のバイオマス量、土壌呼吸量および酵素活性などの土壌微生物活性の変化は、テンサイ、コムギでは短期輪作を続けても逆に微生物活性は高まる傾向であったが、バレイシヨ、インゲンマメを交互作、連作のように作付回数を多くした場合には、微生物基質である作物残渣量が減少し、土壌微生物活性を低下させ、結果的に畑生産力の低下をもたらすことが推察される（第四章）。「連作による地力の低下」と一般に言われる表現は、各作物栽培土壌の微生物活性をみる限り必ずしも当てはまらない。

さらに、輪作体系下の土壌微生物特性を考える場合、輪作年限も重要であるが、前後作の影響も考慮する必要があった。前作物としてのテンサイはその養分収支とし

での窒素残存量が多いことおよび残渣還元量が多いことから、後作物を増収させるとともに、テンサイを含む輪作は土壤微生物活性を高めた。コムギ残渣の分解は遅いが、還元量が多いことから長期的にみれば後作を増収させ、これを含む輪作下の土壤微生物活性も高めた。一方、前作物としてのインゲンマメ、バレイショは窒素収支の残存量、残渣還元量ともに小さいため、後作物収量への効果は小さく、土壤微生物活性も低下した。このような作物に対する前作物の影響は、施肥量の小さいインゲンマメ、バレイショで大きく、施肥量の大きいテンサイで小さい。養分収支残存量が小さい作物の後作物に対しては、増肥による対応も考えられるが、窒素多肥にともなうバレイショでんぷん価などの品質低下などを考慮すると必ずしも現実的でなく、増肥では土壤微生物活性を維持するために必要な還元有機物量を補填することはできない。

本研究における各種作付様式の収量性から輪作年限についてみると、作物によっては3年輪作も可能であった。しかし、連作障害の回避が前提という意味では基本的に4年輪作を行うことが望ましいと考えられる。4年輪作の作付様式について、たとえば本連輪作試験での4年輪作の作付様式を考えてみると、試験系列は2系列(4a:テンサイ-バレイショ-インゲンマメ-コムギ, 4b:テンサイ-インゲンマメ-バレイショ-コムギ)であり、両作付様式の収量比の平均はほぼ同等であったが、4b系列がテンサイでやや4a系列に優る年次が多く、インゲンマメでもかなり増収し、バレイショでやや低収、秋播コムギが低収傾向にあったが、品質面では糖分、でんぷん価がやや高く、粒重等には差がなかった。したがって、少なくとも輪作2周目までは4b系列が全般的にも4aにやや優ると考えられた。試験設定したこの2つ以外の系列として、テンサイ-インゲンマメ-コムギ-バレイショ、テンサイ-バレイショ-コムギ-インゲンマメがあり得る。本研究からは類推の域を出ないものの、これら2つの系列の収量性では、前者はテンサイ跡のインゲンマメ、インゲンマメ跡のコムギと収量が良好な条件がそろっており、コムギ跡のバレイショ、バレイショ跡のテンサイも平均的に収量を得られることから、前者の系列がこれら4作物の4年輪作の4系列の中では最も望ましい系列と推定される。また、止むを得ず3年輪作を行う場合は、残渣の分解特性と還元量が4年輪作と類似する、テンサイ、コムギにバレイショまたはインゲンマメを組み合わせた系列が望ましいと推定される。輪作体系下の作物生産性向上のためには、輪作年限および前後作関係の異なる作付様式における各作物の収量特性を把握するとともに、テンサイとコムギを輪作体系に効果

的に配置し、土壤微生物活性を高く維持できる作付様式を設定することが望ましい。現行の土壤生産力を維持するためには、土壤微生物特性の観点からも、残渣の分解特性が異なる作物を含み、かつ十分量が得られる輪作体系が必要である。このような考え方は、供試した畑作4品目による輪作体系のみならず、野菜作の導入が急速に進行している十勝地方などにおける畑作-野菜輪作体系の確立にも十分利用できる。

一方、輪作体系下における連作障害の問題を土壤微生物的にみると、輪作は基質の種類が豊富で、微生物相は多様化し、ある特定の作物の病原菌との間に競合関係が生ずると、土壤病害の発生が抑制されると考えられている。これらの見解は、糸状菌の多様性指数と根の生育およびアズキ落葉病との関連¹¹⁸⁾のように部分的に考察されているものもあるが、土壤微生物特性の変化が連作障害の発生にどう影響しているかについては不明の部分が多く、連作障害については微生物活性だけでは不十分で、微生物相の解明が不可欠である。本研究ではまず、各作物の根圏ならびに各作物の残渣が還元された栽培跡地の土壤微生物相の特徴を相対的に類別し(表IV-12)、テンサイは細菌型、インゲンマメ、コムギは糸状菌型、バレイショは中間型と評価した。このように、土壤、根圏および施用有機物などの微生物相の特徴を相対的に類別し把握する手法は、第V章にも述べたように従来も行われている^{98, 102, 120, 161)}。3年より短い輪作年限下で各作物の作付回数を増やした場合の土壤微生物活性は、テンサイで高まり、バレイショ、インゲンマメでは経年的に減少し、コムギは一旦減少した後、増加に転ずるが、短期輪作による減収程度は、テンサイ、コムギで小さく、土壤微生物活性の変動とは必ずしも一致しなかった。しかしこれらの作物の栽培土壌および根圏での糸状菌数は、細菌型のテンサイにおいても連作条件下では相対的に増加していた。新田ら¹¹⁹⁾が指摘しているように、土壤病害は糸状菌を病原菌とするものが圧倒的に多い事実から、連作障害抑止のためには糸状菌相の制御が重要と考えられる。

2. インゲン根腐病におよぼす土壤微生物特性の影響

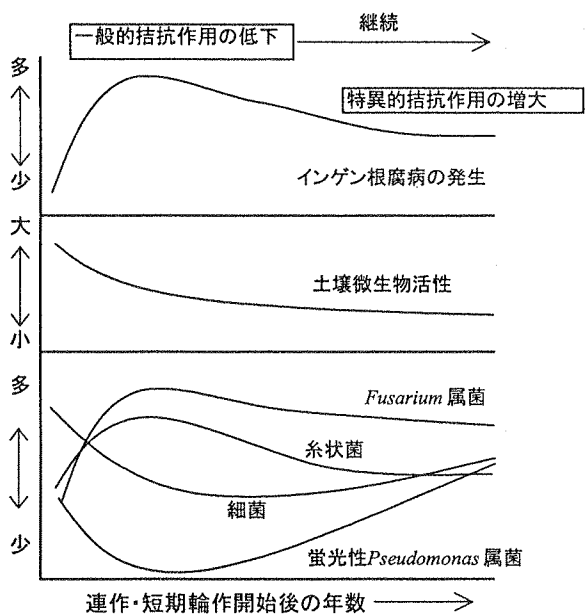
本研究の目的の一つとして、連輪作が作物の生育、収量に及ぼす影響を調査しつつ、連作による減収程度の最も大きいインゲンマメの根腐病に注目して、その発生環境としての連輪作土壌(輪作年限、前後作)の微生物特性と根腐病に対するその影響を評価することにあつた。すなわち、一定の土壌条件下(淡色黒ボク土)で連輪作試験を行うことで、作付様式間での土壤微生物性の違いは、圃場に

還元される微生物基質の変動に帰着すると考え、典型的な連作障害菌ともいえる*F. solani* f. sp. *phaseoli*のような比較的腐生性を持つ糸状菌であれば、他の土壌微生物との競合（拮抗）作用によって病原性に影響を受けるのではないかと推測した。*F. solani*の場合、宿主に何らかのストレスがかかっていたり、不適な条件下で抵抗力が低下したときに発生に至ると一般に考えられている¹¹⁴⁾。しかし、これまで不適とされる土壌環境については土壌微生物特性や土壌理化学性から具体的に説明された例はなかった。事実、インゲンマメの連作区では、圃場に還元される基質量が4作物中最も少なく、土壌微生物活性が4年輪作の70%程度まで低下しており、土壌微生物相も細菌数が減少して糸状菌数、*Fusarium*属菌数が増加するなど変化しており、病原菌に対する土壌微生物の相対的な競合力が弱まっている可能性が示された（表V-2, 3）。また、根腐病は交互作ではかなり軽減されるが、作付を組み合わせる作物によっては、4年輪作との差まで回復するには至らないものの、テンサイ、インゲンマメの組み合わせで抑止効果が大きく、コムギとは当初それほど大きくないが、交互作を継続することにより抑止効果が大きくなるといった、前作物による効果の差とその経年的な変化が認められた（図V-2）。このような土壌微生物特性の変動は、前作物の根圏微生物相と微生物基質となる残渣の分解特性の違いに起因し

ており、この特性が土壌微生物活性と微生物相におよぼす影響を考慮することが重要であった。

また、本研究では、インゲン根腐病の発病が連作年数（7年程度）の経過にともない回復し、衰退現象を認めた。土壌微生物相の中では、拮抗菌の割合が高い蛍光性*Pseudomonas*属菌数が、根腐病の衰退性とともにより（表V-7）、本菌の拮抗能も連作年数に対応して強まっていた。

これまでに示したインゲン根腐病が発生する状況下のインゲンマメ栽培土壌の微生物特性の評価により、根腐病制御における輪作の土壌微生物的意義を考察してみる。インゲンマメ作付回数増加にともない微生物基質量は減少し、土壌微生物活性は低下する（図VII-1）。インゲンマメ連作の初期の土壌微生物相では、糸状菌数が増加し、拮抗能を発揮すると考えられる細菌数、CV耐性菌数が減少するなど、相対的に糸状菌型の土壌となり、もともと*Fusarium*属菌の生息に適したインゲンマメの根圏では病原菌の活動に適した場となり、微生物基質が減少した土壌でのインゲンマメの生育量減少と相まって根腐病は増加する。このような土壌においては病原菌に対する一般的拮抗作用が低下したと考えることができよう。しかし、連作の継続にともない微生物活性の低下は続くが、微生物相の変化が現れてくる。すなわち、糸状菌全体も減少してくると同時に、拮抗能を持つ細菌相とくに、蛍光性*Pseudomonas*属菌数が増加する。この要因については以下のように考察する。微生物基質の単純化（インゲンマメの連作）と減少は、易分解性有機物に反応しやすい細菌だけでなく次第に糸状菌にも影響する一方で、糸状菌バイオマスを基質とするこれらの拮抗性細菌相の増加をもたらしたと考えられる。ただし、このような土壌条件下では特異的拮抗作用が増大し根腐病は回復するものの、微生物活性、バイオマスN量などは低下するため、インゲンマメの収量は4年輪作と同程度までは回復しない。土壌微生物全体の活性の低下が関与する型の連作障害は、このような状況下で発生が増加することが推測される。なお、特異的拮抗作用については、第V章に前述した交互作におけるテンサイ跡地での根腐病の抑制効果についてもその関与が推測された。各作物で、連作による減収率がインゲン根腐病のように必ずしも微生物活性の低下と連動していないのは、減収の要因と考えられるたとえば個々の作物の土壌病害が、土壌微生物全体の活性とは関連していないことによるのであろう。*Fusarium*属菌とは腐生性を異にする土壌病原菌について究明することは、今後の検討課題である。連作を続け、かなりの微生物活性低下が認められた土壌では、施用量



図VII-1 連作、短期輪作下のインゲン根腐病におよぼす土壌微生物特性(模式図)

によることも考えられるが、堆きゅう肥の単用(2 kg m⁻²)では微生物活性が向上せず、根腐病は回復しなかった(表V-5)。このことは土壤病害に対する有機物の施用効果が不安定とされる場合に考慮しておかなければならない重要事項と考えられる。

本研究では、輪作によって栽培土壤そのものの微生物相を変化させるような手段が根腐病抑止に必要であることがわかった。今後も病原菌と土壤微生物との相互関係を捉えた上で、有機物の質および量を考慮した有機物管理法を確立する必要がある。

3. 施肥管理によるインゲン根腐病の生態的制御

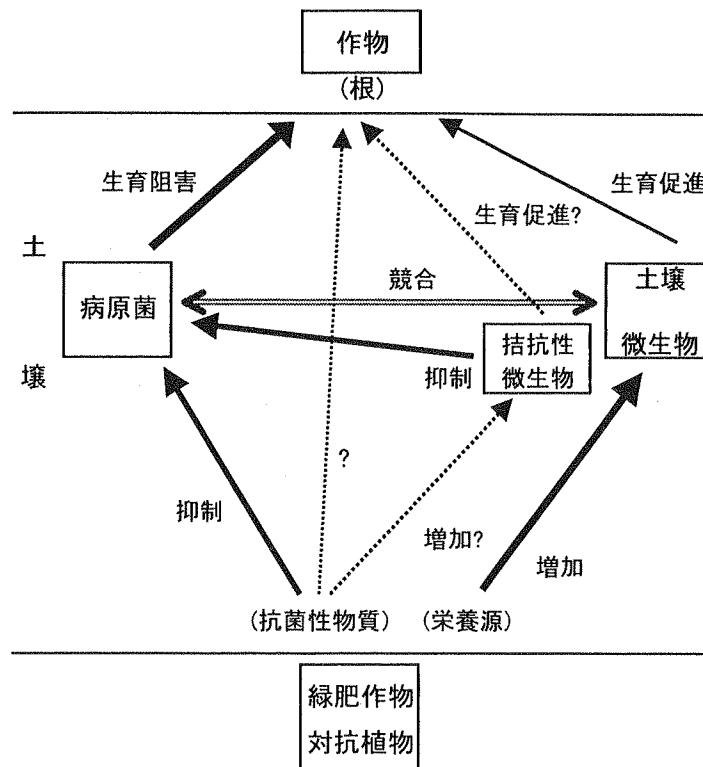
土壤の種類を異にした連作試験の結果、インゲン根腐病の発生は淡色黒ボク土、褐色低地土で多く、多湿黒ボク土、灰色台地土で少なかった。インゲンマメの土壤微生物特性は土壤理化学性の影響をも受けるが、発病抑止性の土壤間差異を土壤理化学性および微生物性から検討した結果、灰色台地土および多湿黒ボク土における発病抑止性の要因として、前者では低pH (pH5.2)における土壤アルミニウムの影響や、細粒質の土性が、後者では高い微生物活性に加えて、保水性が高く、乾燥時においても微生物競合が低下しないことなどが関与したと推察された(第V章)。これらの結果は、柁土壤試験および培養実験等によりモデル的に求められたものであり、

今後、発病抑止性におよぼす腐植、土性の影響や作付様式による変化など、抑止性の要因を多面的に検証していくことが必要である。

一方、インゲン根腐病の発生と作物生育自体を良好に維持する両方の観点から、pHを5.5程度と現行土壤診断基準の下限値に維持したり、微生物活性を高めうる尿素などの窒素施肥を行い、有効態リン酸を20mg P₂O₅100 g⁻¹以上に維持し、交換性カリを30mg K₂O100g⁻¹以下として土壤診断基準(リン酸10~30mg, カリ15~30mg)を遵守することにより根腐病を軽減することも可能である。このように土壤理化学性ならびに微生物特性からの検討によって異なる土壤間の発病抑止性の違いを明らかにすることで、土壤病害発生の難易を示す地図化も可能であり、さらに土壤病害に耐性を持つ土壤改良、施肥管理対策にも発展させることができよう。

4. インゲン根腐病を生態的に制御する新しい輪作体系の確立

単作化の進んだ大規模畑作地帯において、土壤病害の発生を未然に抑制するためには、これまで述べたような輪作年限、前後作の改善に加えて、微生物相の改善が期待でき、拮抗菌などに比べ比較的安定な抑止効果を持つと推察される対抗植物の作付が有効と考えられる。野菜、緑肥作物、ハーブ、花き類など52種の異種作物の作付によ



図VII-2 本研究から想定した作物-土壤病原菌-土壤微生物の相互関係

る後作のインゲン根腐病に対する抑制効果を検索してみると、23%の作物が根褐変指数低下率31%以上の大きな効果を示し、輪作体系への導入が可能な作物も存在した(表Ⅶ-2)。また、ハーブ類などのように実際に導入しようとする生育適地や生育量などの問題があっても、抗菌性を有する有機物資材としての利用が可能であろう。この考え方は藤井¹⁸⁾、早川²⁷⁾らも指摘している。最近では、このような抗菌性を有する作物および輪作作物中に含まれる抗菌性物質に着目した作物間相互作用を利用した土壌病害制御研究も少なくない^{28-30, 180, 195)}。

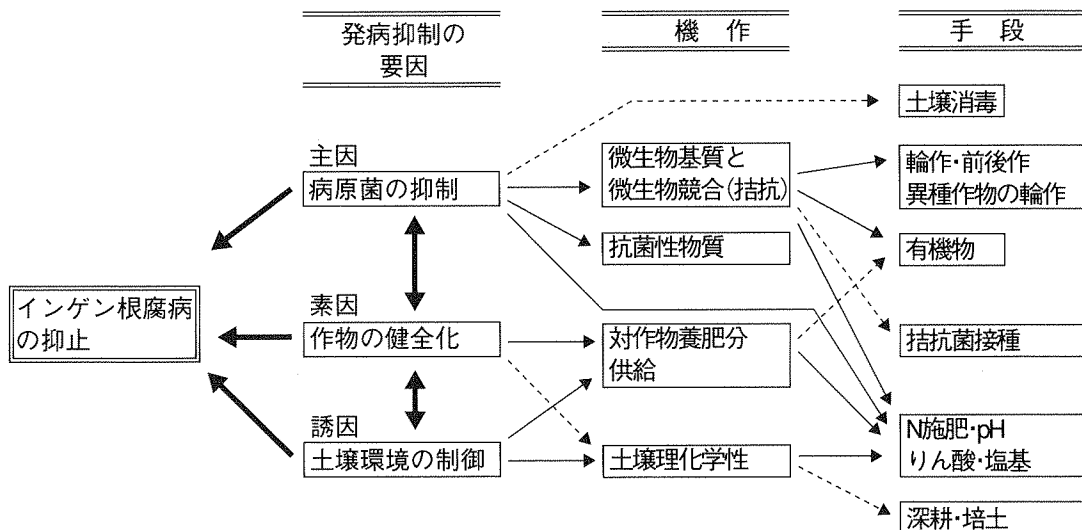
本研究では、抗菌活性が強く、輪作に導入しやすい作物、たとえばアルファルファやアカクロバなどのインゲン根腐病に対する抑止効果の高い緑肥作物の導入可能性に着目した(第Ⅵ章)。とくにアルファルファには、アレロパシーあるいは自家中毒として作用する特性が認められており、これをインゲンマメの前作物として利用することによって、根に含有されるサポニン類などの抗菌性物質の放出が根腐病に抑止効果を発揮する可能性を示した。実際の圃場における根腐病抑止効果は、インゲンマメとアルファルファの混作では認められず、アルファルファを休閒緑肥として一年間栽培、またはコムギなど作物収穫後の後作緑肥としてインゲンマメ作付前年の秋に栽培した場合に、翌年のインゲン根腐病に対する効果が大きかった。アルファルファによる抑止効果発現の機作については、蛍光性*Pseudomonas*属菌による特異的拮抗作用の発現を含め、抗菌活性がどのようにインゲンマメの根圏に及ぶのか、根からの滲出物の抗菌活性や

残渣の分解にともなう微生物相の変化の両面からさらに詳細に検討する必要がある(図Ⅶ-2)。

しかしながら、緑肥作物を始めとした有用な異種作物の検索と、それらの輪作体系への導入による新しい視点での作物間相互作用による土壌病害制御は、土壌生産性の永続的維持を可能にし⁹⁶⁾、生態系利用型農業の確立という観点でみてもまさしく一石二鳥であり、今後この方面の研究が一層望まれる。

5. 土壌微生物に着目したインゲン根腐病の制御と今後の連輪作研究の方向性

輪作体系下の土壌生産性を維持し、一連の土壌管理を考える上で、輪作の持つ多面的な効果の中で、微生物的な緩衝能あるいは拮抗能を把握することが必要と考える。インゲン根腐病を例にとって土壌病害抑止対策を述べてきたが、発生の要因を主因、素因、誘因に整理し、それぞれの機作を解明することにより、難防除病害であるフザリウム病においても、土壌の微生物環境改善と作物間相互作用の有効利用などによって、かなりの抑止対策が実現できると考えられる(図Ⅶ-3)。輪作年限の短縮によって発生が増加するインゲン根腐病の対策については、土壌微生物的視点を加えることにより、適切な養分管理を行った上で、前作にテンサイあるいはコムギを用い、コムギ跡地にはアルファルファを導入するなど、輪作体系下の土壌微生物活性を高め、土壌微生物相を改変し、抗菌活性を持つ緑肥作物を輪作に導入する方法が本病の生態的制御方策として有効であろう。



図Ⅶ-3 インゲン根腐病を対象とした土壌病害制御要因の模式図
実線部(→)が本研究で取り扱った項目。点線部は関連項目。

輪作は畑土壌生態系を活用した最も有用な土壌管理技術であり、連作障害制御の観点からは長期輪作が望ましいであろう。しかし、短期輪作が増加している現状で、望ましい輪作体系を提案するにあたっては、各種作付様式の収量性を把握し、土壌の微生物環境を詳細に検討することが重要であり、土壌微生物活性を維持しつつ、拮抗性微生物の機能を有効に発揮させるような技術の確立が必要となる。今後、輪作の微生物的な効果をさらに的確に評価できる手法が望まれるとともに、拮抗性微生物

の挙動を把握し、生息に適した環境条件を解明することや、微生物活性向上と病害抑制の効果を合わせ持つような作物を輪作に導入したり、作物収穫後の一定期間に作付を行うなど「多重作付体系」ともいうべき輪作体系改善技術の開発を積極的に行うことが必要と考える。大規模畑作地帯における作物生産性を持続的に維持するためには、土壌微生物の制御が重要であることが明らかであり、輪作を基本とし、土壌微生物性を一層重視した土壌管理法を考える必要がある。

第Ⅷ章 要 約

各種作付様式が土壌微生物活性および微生物相などの土壌微生物特性と作物生産性におよぼす影響を明らかにし、輪作作物の生産性を向上させるための基礎資料を得ることを目的として、北海道の主要畑作物であるテンサイ、バレイショ、インゲンマメ、コムギの主要4作物を供試した連輪作試験を実施した。さらに、輪作年限の短縮によってインゲン根腐病が増加し著しく減収するインゲンマメを対象としてインゲン根腐病発生下の土壌微生物特性と本病の関係を解明し、輪作、施肥および抗菌性を有する新規作物の導入によって土壌微生物環境を改変することによる本病の生態的制御法を土壌肥料的な見地から検討した。得られた結果の概要は以下の通りである。

1. 連作、短期輪作年限における作物収量反応の特徴

1) 作物収量と品質におよぼす輪作年限の影響

- (1) 淡色黒ボク土における交互作および2～10年間の連作による平均減収率はインゲンマメ>コムギ>バレイショ>テンサイの順であった。収量反応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と連作で低下または減少した。バレイショのでんぷん価は低下しなかった。
- (3) 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、バレイショ収量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高く、バレイショの場合には輪作回数の後期に低下し、コムギの場合には後期にやや高まった。コムギでは前作がバレイショの場合に低く、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、輪作年限による影響と比較して、バレイショでは大きく、インゲンマメではやや小さく、テンサイ、コムギでは小さかった。

3) 輪作年限と作付組み合わせからみた輪作の収量性

- (1) テンサイおよびコムギを組み入れた作付様式は、長期的にみて収量性が高かった。作付様式の決定にあたっては、テンサイとコムギを前作として効果的に配置するなど、個々の作物の適正な輪作年限とともに作付組み合わせをも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、作付様式の中にテンサイが入ると窒素の残存量が増加し、バレイショでカリ残存量の減少、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要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、バレイショの連作および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の減収率が大きかった。インゲンマメでは連作、交互作および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。

2. 輪作体系下における主要作物の根圏・非根圏土壌の微生物特性

1) 主要畑作物の根圏微生物特性

- (1) 単位圃場面積あたりの根重および根長は、50cm深の土層においてコムギ>テンサイ>インゲンマメ>バレイショの順であった。
- (2) 根圏微生物相の特徴として、細菌、CV耐性菌数、蛍光性*Pseudomonas*属菌数はテンサイ、バレイショで多く、糸状菌数はインゲンマメでやや多かった。B/F（細菌数/糸状菌数）値、C/F（CV耐性菌数/糸状菌数）値および細菌数の根圏効果は、テンサイ、バレイショで大きく、他2作物で小さかった。糸状菌相は、インゲンマメで*Fusarium*属菌が多く、コムギでもやや多かった。
- (3) 微生物活性関連項目では、土壌呼吸量とバイオマス

N量がバレイショ、テンサイの根圏で他作物に比べて多く、根圏効果も大きかった。フォスファターゼ活性およびセルラーゼ活性の根圏効果は小さいが、両活性ともコムギ、テンサイで高かった。

2) 輪作体系下における非根圏土壌の微生物特性の変動

(1) 前作物が後作物の非根圏土壌の微生物特性におよぼす影響として、細菌数はテンサイ跡地土壌で多く、糸状菌数も同跡地でやや多いが前作による差は小さかった。土壌呼吸量、バイオマスC量もテンサイ跡地で高いが、酵素活性には前作間差が認められなかった。

(2) 前作物を一定にして当作作物の非根圏土壌微生物相の特徴をみると、細菌数はインゲンマメで最も少なく、糸状菌数はインゲンマメ、コムギで多かった。

(3) 当作作物の非根圏土壌では輪作年限の短縮により、輪作の経過に伴って、テンサイで土壌呼吸量、バイオマス量がやや増加し、微生物数が増加した。バレイショでは呼吸量、バイオマス量、酵素活性などの微生物活性関連数値は減少し、細菌数も減少したが、糸状菌数は増加した。インゲンマメではいずれの微生物活性とも大きく減少し、糸状菌数が増加した。コムギでは微生物活性関連数値が増加し、糸状菌数が増加した。

(4) 以上のように、根系分布および根圏微生物活性と根圏効果が異なる各作物が輪作に導入されることによって、まず当作における作物栽培土壌の根圏微生物活性が変動し、さらに分解特性の異なる前作残渣が圃場に還元され後作土壌の微生物活性が変動した。また、各作物の根圏と、各作物残渣を圃場に還元した後作物の非根圏土壌の微生物相の特徴として、テンサイを細菌型、インゲンマメ、コムギを糸状菌型、バレイショを中間型に分類した。

3) 土壌微生物特性の変動要因と作物生育の関係

(1) 土壌呼吸量とバイオマスC、N量および酵素活性との間には正の相関が認められ、地力窒素の指標である培養無機態Nと細菌数との間にも正の相関が存在し、微生物の基質量と微生物の量および活性の間には密接な関係があった。

(2) 輪作年限の短縮により作物別の土壌微生物活性が上昇した場合には、当該作物の収量低下が小さく、低下した場合には大きかった。

(3) テンサイ残渣は直後で、コムギ残渣はより長期的に輪作回数経過にともなって、土壌微生物活性を高めた。したがって、テンサイとコムギを含む作付様式が長期的にみて収量性が高かったことは、これらの作付様式で土

壌微生物活性が高く維持されたことが一要因と推察した。

(4) 微生物活性が高く維持された要因には、圃場に還元される残渣、残根の量と分解の遅速が関与すると考えられ、易分解性の糖、窒素がテンサイで多く、難分解性のセルロース、リグニンなどがコムギで多いなど、顕著な作物間差が存在した。

(5) 作物残渣を土壌に添加した短期間の培養試験では、細菌数はテンサイ>バレイショ>インゲンマメ>コムギの順であった。糸状菌数もテンサイで高まるが、B/F値はテンサイ>バレイショ>インゲンマメ>コムギの順であり、圃場から採取した残渣上の微生物相の結果と一致した。土壌呼吸量はテンサイ>インゲンマメ \geq バレイショ>コムギの順に高かった。

(6) 連作を継続すると根活性は減収率の大きなインゲンマメでより低下した。連作によって各作物根圏で糸状菌数が増加し、微生物活性が低下した場合でもインゲンマメやバレイショ根圏では糸状菌数、菌糸長が増加したことから、連作による根圏の糸状菌数増加と連作障害との関連が示唆された。

(7) 輪作年限短縮による収量低下が最も大きいインゲンマメ栽培土壌では、連作、短期輪作の初期の段階で細菌数の減少と糸状菌数の増加が認められ、その中でも*Fusarium*属菌が増加した。その後、連作、短期輪作が継続されるにしたがい微生物基質の還元量が減少し、微生物数の減少と微生物活性の低下が大きく、連作土壌における土壌微生物活性は4年輪作の約70%まで低下した。

3. インゲン根腐病におよぼす土壌微生物の影響と生態的制御

1) インゲン根腐病におよぼす輪作体系の影響

(1) 連作および短い輪作年限におけるインゲンマメの収量低下は、*Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*によってもたらされるインゲン根腐病に主に起因し、地際胚軸の1/4から1/2程度が褐変すると減収率が大きくなった。輪作年限が短くなるにしたがい根腐病は増加した。

(2) 各種作付様式におけるインゲンマメの根褐変指数と、土壌ならびに根圏の*Fusarium*属菌数との間には正の相関が認められた。

(3) インゲン根腐病の発生におよぼす前作物の影響は4年輪作では認められないが、交互作区における根腐病の発生は2日目までインゲンマメ跡(連作)>コムギ跡>バレイショ跡 \geq テンサイ跡の順に高く、テンサイ跡で最も抑制され、4日目以降には、コムギ跡で最も抑制された。

- (4) 交互作区1, 2周目のインゲンマメ作付前の土壌微生物相をみると,糸状菌数にはあまり差がないが,*Fusarium*属菌数はインゲンマメ跡>コムギ跡>バレイシヨ跡>テンサイ跡の順に多く,細菌数はテンサイ跡>バレイシヨ跡 \geq インゲンマメ跡>コムギ跡であった。根圏の*Fusarium*属菌数はインゲンマメ跡,コムギ跡で多かった。
- (5) その後の交互作の継続により4, 5周目の土壌微生物相をみると,*Fusarium*属菌数はインゲンマメ跡>バレイシヨ跡>テンサイ跡>コムギ跡の順に多く,細菌数はテンサイ跡>バレイシヨ跡>インゲンマメ跡 \geq コムギ跡であった。
- (6) 土壌微生物活性を異にした土壌における接種試験により,微生物活性の低い土壌では根腐病が増加することを認め,土壌微生物活性の低下と土壌微生物相の変化が,根腐病の発生程度に2次的に関与すると推察した。このことは,交互作区の土壌微生物活性を反映する土壌呼吸量が,2周目の時点でテンサイ跡>バレイシヨ跡>コムギ跡>インゲンマメ跡であったが,その後の交互作の継続により,テンサイ跡,コムギ跡では土壌呼吸量,バイオマス量が増加し,バレイシヨ,インゲンマメ跡では減少したことからも確認された。
- (7) 完熟堆きゅう肥の単年施用では,根腐病抑止効果が認められなかった。
- (8) *Fusarium*属菌の生育に影響をおよぼす土壌微生物相を形成する要因としては,作物残渣の質的差異が大きく関与すると考えられた。残渣の微生物相は,テンサイでは細菌数が非常に多く,糸状菌,*Fusarium*属菌数が少なく,インゲンマメでは糸状菌や*Fusarium*属菌数が非常に多かった。
- (9) 殺菌土壌を用いた残渣の培養試験では,根腐病菌はインゲンマメ残渣だけでなく,テンサイ残渣をもよく利用したが,未殺菌土壌では,テンサイ残渣の添加で*Fusarium*属菌数が低下した。
- (10) 基質試薬を用いた培養試験では,アミノ酸類および単糖類の添加で土壌微生物全体の活性が高まり,アミノ酸類では*F. solani* f. sp. *phaseoli* および*F. oxysporum*を含む*Fusarium*属菌もやや増加するもののB/F値およびB/Fus値(細菌数/*Fusarium*属菌数)が高まった。一方,単糖類ではB/F値が低下し,B/Fus値も高まらなかった。セルロースでは活性そのものが低く,B/F, B/Fusは高まらなかった。
- (11) 圃場に還元される残渣,残根の質および量的差異として,テンサイでは易分解性の糖,窒素が多く,コムギでは難分解性のセルロース,リグニンなどが多い,インゲンマメでも分解が遅く還元量も著しく少ない,などの

顕著な作物間差を認めた。

(12) ある特定の細菌(*Bacillus megaterium*)と*F. solani* f. sp. *phaseoli*を混合接種した条件で,*F. solani* f. sp. *phaseoli*菌数が減少した。

(13) 以上の結果から,土壌微生物活性,微生物相は各種作付様式における前作物残渣の特性に応じて変化し,微生物的緩衝力,いわゆる一般の拮抗作用によって*Fusarium*属菌などの比較的腐生性を持つ病原糸状菌に競合的に影響を及ぼしたものと推察した。

2) 拮抗微生物によるインゲン根腐病の抑止機構

(1) インゲン根腐病は連作3~6年目に激化したが,その後やや回復し,衰退現象が確認された。土壌細菌数は,連作5年目まで減少したが,6年目以降は4年輪作とほぼ同等となり,蛍光性*Pseudomonas*属菌数は衰退性の増大と対応して増加した。*Fusarium*属菌数は連作の継続でやや増加したが,全体の糸状菌数は根腐病の発生変動とほぼ一致した。

(2) 連作土壌より分離した蛍光性*Pseudomonas*属菌では,*F. solani* f. sp. *phaseoli*の拮抗菌が高い割合で認められ,根腐病の衰退性が高まるとともに拮抗能も増大した。

(3) インゲンマメ根圏の蛍光性*Pseudomonas*属菌数は,衰退性のみられた連作7年目では4年輪作よりも,生育の早い時期に高まった。

(4) インゲンマメ連作下では土壌微生物全体の活性が低下したが,このような土壌微生物による特異的拮抗作用の発現が衰退現象の一要因であった。

(5) 前作物の違いによる根腐病の抑止性についても,前作がテンサイ,バレイシヨの場合には蛍光性*Pseudomonas*属菌による特異的拮抗作用の関与が示された。

3) インゲン根腐病におよぼす土壌理化学的影響と土壌管理による制御

(1) 連作土壌における根腐病の発生は,淡色黒ボク土,褐色低地土で多く,多湿黒ボク土,灰色台地土で少なく,供試した4土壌間で差異が認められた。

(2) 灰色台地土を除く3土壌では土壌微生物が根腐病の発生に大きな影響を与えていた。淡色黒ボク土,褐色低地土では糸状菌に占める*Fusarium*属菌の割合が高く,多湿黒ボク土や灰色台地土では低かった。

(3) 灰色台地土では,土壌殺菌の有無を問わず根腐病菌を接種しても根腐病の発生が少なく,細粒質の土性および低pH(5.2)が発病の抑止性をもたらす要因であった。

(4) 淡色黒ボク土、褐色低地土では多湿黒ボク土、灰色台地土に比べて土壤の乾燥により細菌が減少しやすく、これらの土壤では、根圏で*Fusarium*属菌数が高まる6月中旬頃の土壤が乾燥しやすい条件で、一般的拮抗作用が低下すると推察された。

(5) 多湿黒ボク土では、土壤乾燥に対する細菌数の減少程度が小さく、加えて微生物基質量が多く土壤微生物活性の高いことが、発生が低かった要因として考えられる。

(6) このように、インゲン根腐病の発病抑止性の土壤間差異には、土壤微生物による一般的拮抗作用と、pH、土性などの土壤理化学的要因が関与すること明らかにした。

(7) 淡色黒ボク土においてpHを改変した実験を行った結果、pH5.5以下の低pH条件で根腐病の発生が抑制された。

(8) インゲンマメ連作土壤における三要素試験の結果から、インゲン根腐病に対する窒素欠除の影響は小さく、リン酸欠除により増加し、カリ欠除により抑制された。

(9) 炭素源を含む石灰窒素、CDU、尿素とこれを含まない硫安、チリ硝石を条に施用して根腐病抑止効果を検討した結果、前3者ではいずれも生育初期の根腐病を抑制しやや増収したが、後2者では抑制されなかった。この抑制要因として、土壤微生物活性の増加による一般的拮抗作用が発現した可能性が高い。なお、石灰窒素および尿素区では*Fusarium*属菌数が減少した。

(10) 三要素試験およびリン酸とカリの施用試験の結果から、根腐病を抑制するための土壤条件として有効態リン酸 $20\sim 30\text{mg P}_2\text{O}_5\ 100\text{g}^{-1}$ 、交換性カリ $15\sim 30\text{mg K}_2\text{O}\ 100\text{g}^{-1}$ が望ましいことを明らかにした。根腐病抑止のためには土壤診断に基づいた適正な土壤・施肥管理を行うことが重要である。

4. 対抗植物の利用によるインゲン根腐病の生態的制御

1) インゲン根腐病を抑止する作物種の検索

(1) インゲンマメ連作土壤を充填したポット条件下で、野菜、緑肥、ハーブ、花きなど52作物種の作付が後作のインゲン根腐病発生におよぼす影響を検討した。根を含む作物体搬出処理では全作物種による抑止効果が認められ、根褐変指数の低下率が31%以上の大きい抑止効果を示した作物種は、ニラ、チンゲンサイ、ペルコ、アルファルファ、スペアミント、コカブなど全体の23%であった。

(2) 緑肥類10種については作物体すき込み処理も設けた結果、アルファルファ、ペルコ、マリーゴールドではいずれの処理でも抑止効果が大きかった。搬出処理に比べ

てすき込み処理で効果が大きい作物はアカクロバ、トウモロコシ、ソルゴーであった。

(3) 異種作物によるインゲン根腐病の抑止要因として、栽培、すき込みによる土壤微生物相の変化が考えられるが、本実験条件では抑止性を異にする作物間で一定の傾向を見いだせなかったことから、栽培作物それ自身の持つ抗菌活性が注目された。

(4) 緑肥作物種の大部分はインゲン根腐病を抑制し、これらを病原菌に対するメタノール抽出物の抗菌活性から①強：アカクロバ、アルファルファ、②中：マリーゴールド、レバナ、エンバク、③弱：トウモロコシ、ペルコ、ソルゴーの3種に分類した。

2) アルファルファの抗菌性発現要因と輪作体系下の作付方式

(1) 圃場条件で、インゲンマメ連作土壤に4種の緑肥作物をインゲンマメ収穫直後の秋に後作緑肥として作付しすき込んだところ、アルファルファ、アカクロバ、エンバクに次年度のインゲン根腐病抑止効果が認められ、その効果はアルファルファで特に大きく、作付2年目に最も高い抑止効果を認めた。

(2) インゲンマメとアメファルファの混作では抑止効果が小さく、逆にインゲンマメは生育抑制を受けた。

(3) アルファルファ根のすき込みによる抑止効果は茎葉のすき込みよりも大きかった。

(4) アルファルファの後作緑肥としての抑止効果は、アルファルファの被覆度が小さい場合のすき込みでも、軽度の根腐病発生圃場に効果があり、輪作区と同等以上のインゲンマメの収量を上げ得た。

(5) インゲンマメとアルファルファの交互作区(茎葉搬出)で最も抑止効果が大きかった。

(6) アルファルファの根に含有される抗菌性成分をバイオアッセイと機器分析により検討した結果、2種のサポニン類、medicagenic acid glycosideおよびhederagenin glycosideが推定され、粗サポニンの土壤施用により根腐病の抑制効果が認められた。

(7) 一方、アルファルファのすき込み量が少ない場合でも土壤中に蛍光性*Pseudomonas*属菌が特徴的に増加することから、アルファルファの作付による特異的拮抗作用の発現が推察された。また、アルファルファの秋作付では土壤微生物活性を増加させる効果は小さく、微生物活性向上による根腐病抑止効果に対する上記の抗菌性成分の寄与度は小さいと考えられた。

(8) アルファルファすき込み後2週間後にインゲンマメを栽培した実験では、インゲンマメに対するアルファル

ファの阻害的な作用は認められないことを確認した。

5. まとめ

以上の結果から、冷涼な北海道における輪作体系下の作物生産性向上のためには、輪作を基本として、テンサイとコムギを輪作体系に含み、かつ前作物として効果的に配置するなど、土壌微生物活性を高く維持できる作付様式の設定が必要であることを明らかにした。さらに輪作年限の短縮によって発生が増加するインゲン根腐病の対策として、適切な養分管理下で、前作物にテンサイあ

るいはコムギを用いて、輪作体系下の土壌微生物活性を高め、土壌微生物相を改変し、抗菌活性を持つアルファルファを輪作に導入する方法が本病の生態的制御方策として有効であろう。

このように、輪作の持つ多面的効果のうちで微生物的な活性、緩衝能および拮抗能を向上させることが、畑地力の維持増強をもたらす。本研究は、輪作の意義に新たな視点を加えるものであり、大規模畑作地帯における輪作体系下の作物生産性を持続的に維持するためには、土壌微生物の制御が重要であると結論する。

謝

本論文を草するにあたり、北海道大学大学院農学研究科教授 但野利秋博士には終始懇篤なるご指導を賜り、ご校閲の労をおとりいただいた。北海道大学大学院農学研究科教授 小林喜六博士、同教授 波多野隆介博士ならびに同助教授 山口淳一博士にはご校閲を賜り、貴重なご助言をいただいた。ここに深甚なる謝意を表する。

本研究は、昭和60年より平成6年まで北海道立十勝農業試験場において実施された連輪作試験を中心にとりまとめたものである。元場長 森義雄氏ならびに元土壤肥料科長 大崎玄佐雄氏には研究の端緒を与えられ、同科長として研究遂行中に在任された相馬暁博士（現中央農試場長）、沢口正利博士（現中央農試環境化学部長）、下野勝昭博士（現十勝農試場長）、山神正弘氏（現十勝農試主任研究員）、ならびに元主任研究員 古山芳広博士には、貴重なご指導と絶大なるご援助をいただいた。さらに本研究は、現科長 東田修司博士の懇切なご指導のもとに開始されたものであり、とりまとめに際してもご激励をいただいた。

一連の研究遂行中には、十勝農試場長として在任された南松雄博士、後木利三氏、藤村稔彦氏、成田秀雄氏ならびに元中央農試農芸化学部長 高尾欽弥氏、同環境化学部長 菊地晃二博士（現帯広畜産大学教授）、同生物工學部長 関谷長昭氏にはご指導とご援助を賜った。

元十勝農試土壤肥料科 宮脇忠氏、石井忠雄博士（現農業大学校教務部長）、谷口健雄氏（現中央農試主任研究員）、中本洋氏（現上川農試）、渡辺祐志氏（現中央農試）、現同科田村元氏には絶大なるご援助と貴重なご助言をいただいた。

元十勝農試病虫科長 故谷井昭夫博士、元同科 堀田治邦氏（現花・野菜技術センター）には、参考に供試させていただいた病原菌株を分与されたほか、現科長 田中文夫博士ならびに安岡眞二氏始め病虫科の各位には、土壤病害調査に関して絶大なるご指導をいただいた。連輪作試験の遂行に

辞

あたっては同場管理科、豆類第二科、てん菜科、作物科の絶大なるご援助とご指導をいただいた。豆類第二科 品田裕二氏（現北見農試作物科長）には豆類の栽培管理など幅広くご助言をいただいた。土壤肥料科女性職員には調査、実験にあたって絶大なるご協力をいただいた。また、現地試験の実施にあたっては十勝中部地区農業改良普及センター（芽室駐在）のご便宜をいただいた。

帯広畜産大学助教授 田崎弘之博士には、アルファルファの成分分析を始めとした化学生態学の基礎に関して、絶大なるご援助とご指導をいただいた。日本たばこ(株)たばこ研究所 草間正義氏には分析のご協力をいただいた。元新得畜試草地科 佐竹芳世氏（現天北農試）には、作物試料を提供いただいた。

元農業環境技術研究所土壤微生物利用研究室長 沢田泰男博士ならびに元同主任研究官 加藤邦彦博士（現農業生物資源研究所遺伝資源第一部長）には土壤微生物の分析法に関して懇切なご指導をいただいた。さらに研究途上では、元北海道農試上席研究官 新田恒雄博士（現四国農試企画科長）、元同主任研究官 浅沼修一博士（現国際農林水産業研究センター）、元同 橋本知義博士（現九州農試土壤微生物研究室長）、中央農試主任研究員成田保三郎博士ほか北海道土壤生物診断研究会の各位に貴重なご助言をいただいた。

北海道大学名誉教授 田中明博士ならびに広島大学大学院生物圏科学研究科教授 藤田耕之輔博士には研究者としての心構えと変わらぬご激励を賜った。

本研究のとりまとめに際して、中央農試環境化学部土壤資源科長 三木直倫博士、同土壤生態科長 赤司和隆博士にはご激励とご配慮をいただき、前同科 小野寺政行氏（現北海道原子力環境センター）にはご協力をいただいた。

以上の各位に心から厚く感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 鏡谷大節, 北沢健治: 菜豆根腐病に関する研究(第3報) 土壌微生物の本病病勢におよぼす影響について, 北農試彙報, **81**, 33-42 (1963)
- 2) 赤井 純: 北海道における豆類病害の昨今, 植物防疫, **21**, 467-470 (1967)
- 3) 赤司和隆: ホウレンソウ根腐病の発生機構と生態的防除法に関する土壌肥科学的研究, 北海道立農試報告, **74**, 1-100 (1991)
- 4) 赤司和隆: 圃場の水分環境と土壌病害の発生, 土壌の物理性, **72**, 55-63 (1995)
- 5) Alef, K. and Nanniperi P. (ed.) : Methods in applied soil microbiology and biochemistry, p. 193-417, Academic Press, London (1995)
- 6) Alef, S and Wander, M. M. : Long-term trend of corn field and soil organic matter in different crop sequences and soil fertility treatments on the Morrow plots, *Advances in Agronomy*, **62**, 153-197 (1998)
- 7) Anderson, T. H. and Domsch, K. H. : The Metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, **25**, 393-395 (1993)
- 8) 有江 力, 難波成任, 山下修一, 土居養二, 木島利男: *Pseudomonas gladioli*を定着させたネギまたはニラの混植によるユウガオつる割れ病の生物的防除, 日植病報, **53**, 531-539 (1987)
- 9) Asanuma, S., Tanaka, H. and Yatazawa, M. : Rhizoplane microorganisms of rice seedlings as examined by scanning electron microscopy., *Soil Sci. Plant Nutr.* **25**, 539-551 (1979)
- 10) Brookes, P. C., Landman, A., Pruden, G. and Jenkinson, D. S., : Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen. *Soil Biol. Biochem.*, **17**, 837-842 (1985)
- 11) Brookes, P. C., Powlson, D. S. and Jenkinson, D. S. : Phosphorus in the soil microbial biomass, *Soil Biol. Biochem.*, **16**, 169-175 (1984)
- 12) Cook, R. J. and Rovira, A. D. : The role of bacteria in the biological control of *Gaumannomyces graminis* by suppressive soil. *Soil Biol Biochem.*, **8**, 269-273 (1976)
- 13) Defago, G., Haas, D : Pseudomonads as antagonists of soilborne plant pathogens : Mode of action and genetic analysis, *Soil Biochemistry*, **6**, p.249-291., Marcel Dekker, Inc. (1990)
- 14) 土壌微生物研究会編: 新編土壌微生物実験法, p. 379-397, 養賢堂, 東京 (1992)
- 15) Doran, J. W., Sarrantonio, M. and Liebig, M. A. : Soil health and sustainability, *Advances in Agronomy*, **56**, p. 1-54 (1996)
- 16) Dornbos, D. L., Spencer, G. F. and Miller, R. W. : Medicago delays alfalfa seed germination and seedling growth, *Crop Sci.*, **30**, 162-166 (1990)
- 17) Friedel, J. K., Munch, J. C. and Fischer, W. R. : Soil microbial properties and the assessment of available soil organic matter in a Haplic Luvisol after several years of different cultivation and crop rotation, *Soil Biol. Biochem.*, **28**, 479-488 (1996)
- 18) 藤井義晴: アレロパシーの機能解明と生態系調和型農業における評価, 土・水研究会資料, **7**, 1-24 (1990)
- 19) 古屋広光, 大和田正幸, 宇井格生: 北海道北見地方に存在するインゲン根腐病の発病抑止型土壌, 日植病報, **45**, 608-617 (1979)
- 20) 古屋廣光, 涌井 明, 高橋 正, 宇井格生: 土壌アルミニウムによるインゲンマメ根腐病菌大型分生子の発芽阻害, 日植病報, **62**, 69-74 (1996)
- 21) Garrett, S. D. : Biology of root-infecting fungi., p. 1-293 Camb. Univ. Press., (1956)
- 22) Gestetner, B. : Structure of a saponin from lucerne (*Medicago sativa*). *Phytochemistry*, **10**, 2221-2223 (1971)
- 23) Goplen, B. P. and Webster, G. R. : Selection in *Medicago sativa* for tolerance to alfalfa-sick soils of central Alberta. *Agron. J.*, **61**, 589-590 (1969)

- 24) Griffith, E. and Jones, D. : Microbial aspects of soil structure, Relationships between organic amendments, and changes in aggregate stability, *Plant Soil*, **23**, 17-33 (1965)
- 25) Guenzi, W. D. and Kehr, W. R. and McCalla, T. M. : Water-soluble phytotoxic substances in alfalfa forage : variation with variety, cutting, year, and stage of growth. *Agron. J.*, **56**, 499-500 (1964)
- 26) 早野恒一 : 土壤酵素活性の測定, 新編土壤微生物実験法, 土壤微生物研究会編, p. 360-376, 養賢堂, 東京 (1992)
- 27) 早川嘉彦 : 抗菌植物による防除の可能性, “夢, うたかたの日々”, 北海道土壤肥料研究通信, 19-24(1991)
- 28) 林 幹夫 : フェノール性酸が土壤微生物の増殖および土壤微生物相に及ぼす影響, 土肥誌, **67**, 384-391 (1996)
- 29) 林 幹夫 : フェノール性酸のゴボウ苗立枯病菌, ゴボウ萎ちょう病菌に対する抗菌活性と発病軽減, 土肥誌, **68**, 116-122 (1997)
- 30) 林 幹夫 : フェノール性酸施用によるゴボウ連作障害の軽減, 土肥誌, **68**, 123-130 (1997)
- 31) Hedge, R. S. and Miller, D. A. : Allelopathy and autotoxicity in alfalfa characterization and effects of preceding crops and residue incorporation. *Crop Sci.*, **30**, 1255-1259 (1990)
- 32) 東田修司, 山神正弘 : 畑土壌における微生物活性の指標としての土壤酵素の特徴, 北海道立農試集報, **71**, 7-16 (1996)
- 33) 東田修司, 田村 元, 山神正弘 : 畑土壌の微生物活性とその規制要因, 北海道立農試集報, **70**, 17-26 (1996)
- 34) 東田修司, 藤原伸介, 原田靖生 : 十勝地方での有機リン加水分解酵素活性とその向上, 北農, **57**, 333-342 (1990)
- 35) 東田修司 : 天北地方における重粘土草地の土壤微生物活性と牧草生産, 北海道立農試報告, **80**, 1-123 (1993)
- 36) 東田修司 : 土壤酵素活性による畑地生産力の評価, 土と微生物, **48**, 82-86 (1969)
- 37) 北海道クリーン農業推進協議会ほか : クリーン農業シンポジウム資料～環境保全と農業～, p. 1-53 (1996)
- 38) 北海道立中央農業試験場 : 土壌および作物栄養の診断基準 (分析法), p. 1-199 (1992)
- 39) 北海道立中央農業試験場 : 北海道農牧地土壌分類第2次案 (北海道土壌区一覽), p. 1-123 (1993)
- 40) 北海道土壤生物性診断研究会 : 北海道における土壌微生物研究の今後の方向, 北農, **64**, 72-81(1997)
- 41) 北海道農業試験場畑作部 : 畑輪作における前後作組み合わせ様式に関する研究, 北農試畑作部研究資料, **2**, p. 1-90 (1964)
- 42) 北海道立北見農業試験場 : 畑作物の連・輪作に関する長期試験, 北見農試資料, **3**, p. 1-89, (1981)
- 43) 北海道立北見農業試験場 : 北見農試年報, p. 7-11 (1969)
- 44) 北農試農芸化学部 : 重粘土水田土壌中の粘土鉱物, 重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究, 農林水産会議事務局編, p. 199-201 (1972)
- 45) 北海道植物防疫協会 : II. 病害, 北海道病虫害防除提要1986, p. 7-119 (1986)
- 46) 北海道立十勝農業試験場 : 加工用馬鈴しょの肥培管理改善による品質向上, 北海道農業試験会議資料, p. 1-40 (1988)
- 47) 北海道立十勝農業試験場 : 十勝農試年報, p. 14-17 (1996)
- 48) 北海道立十勝農業試験場 : 昭和58年冷湿害による十勝の畑作物被害解析, 十勝農試資料, **9**, p. 1-127 (1984)
- 49) 北海道立十勝, 北見農試 : てんさいの短期輪作栽培における収量, 糖分の変動解析, 昭和60年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部編, p. 75-79 (1985)
- 50) 北海道立十勝農試 : インゲンマメのアファノミセス根腐病の発生と窒素肥料を利用した耕種の防除法, 平成3年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部編, p. 229-232 (1991)
- 51) 北海道立十勝農試 : 異なる輪作体系における畑作物の収量反応ならびに土壤微生物特性の変動, 平成7年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部編, p. 280-283 (1995)
- 52) 北海道 : 北海道病虫害発生予察事業実施手引 (病虫害発生調査基準), p. 83-112 (1981)
- 53) 北海道農政部 : 平成10年普及奨励ならびに指導参考事項, 新たに発生した病虫害, p. 168 (1998)
- 54) 北海道畑作物の土壌病害刊行会 : 北海道畑作物の土壌病害, p. 1-402 (1983)
- 55) 北海道病虫害防除所 : 平成10年度の発生にかんがみ注意すべき病虫害 (平成11年2月), p. 3 (1999)

- 56) 堀 兼明, 樋浦康一郎：微生物資材の考え方, 有機質肥料と微生物資材, p.141-182, 農文協, 東京 (1988)
- 57) 堀 兼明：根圏微生物と有機物利用, 農業技術体系 土壌施肥編, 土壌の働きと根圏環境, 農文協, p. 106-117 (1987)
- 58) 堀 兼明：農耕地における土壌診断の研究ならびに診断指標と手法の開発, 3. 土壌の微生物性診断, 土肥誌, **65**, 578-584 (1994)
- 59) 堀 兼明ら：園芸作物培地の生産力と土壌微生物に関する研究 (第4報), 各種有機物施用がトマトの褐色根腐病と土壌微生物相に及ぼす影響, 静岡農試報, **25**, 26-35 (1980)
- 60) 堀田治邦, 谷井昭夫：インゲンマメのアファノミセス根腐病の発生, 植物防疫, **44**, 545-548 (1990)
- 61) 堀田治邦, 谷井昭夫：インゲン根腐病 (症) の生物的防除, 第1回バイオコントロール研究会講演要旨, 40-48 (1989)
- 62) Huber, D. M. and Andersen, A. L.: Interrelation of bacterial necrosis of *Fusarium* to crop rotation, isolation frequency, and bean root rot., *Phytopathol.*, **52**, 737 (1962)
- 63) Huber, D. M., Watson, R. D. and Steiner, G. W.: Crop residues, nitrogen, and plant disease. *Soil Sci.*, **100**, 302-308 (1965)
- 64) 犬伏和之：土壌バイオマス測定法, 新編土壌微生物実験法, p.173-189, 養賢堂, 東京 (1992)
- 65) Isakeit, T. and Lockwood, J. L.: The disease supporting capability of soils of different fungistatic capacity, *Can. J. Plant Pathol.*, **8**, 289-296 (1986)
- 66) 磯野 清：抗菌性物質試験法, 生理活性物質のバイオアッセイ, p.17-29, 講談社, 東京 (1984)
- 67) 伊藤征男, 宇井格生：インゲン根腐病の発病経過と根圏, および病斑内の病原菌数, 北大農邦文紀要, **8**(4), 391-395 (1972)
- 68) 伊藤征男, 宇井格生：C/N比を異にする基質中で増殖した *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* の病原力, 日植病報, **39**, 148-149 (1973)
- 69) Jones, P. C. and Mollison, J. E.: A technic for the quantitative estimation of soil organisms, *J. Gen. Microbe.*, **2**, 54-69 (1948)
- 70) 鎌田賢一, 菊地晃二：網走管内の畑作経営における輪作様式の実態と問題点, 北農, **53**(3), 17-30 (1986)
- 71) Kato, K., Okumura, M., Yasuda, M. and Sawada, Y.: Characteristics of bacteria isolated from soil and roots of wheat., *Transactions III, 14th International Congress of Soil Science*, 72-77 (1990)
- 72) Katoh, K. and Ito, K.: New selective media for *Pseudomonas* strains producing fluorescent pigment, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **29**, 525-532 (1983)
- 73) 加藤邦彦, 石上 忠, 稲山三男, 藤田 彰, 後 俊孝：蛍光性色素を生産する *Pseudomonas* 属および *Bacillus* 属細菌のキュウリ連作土壌における動態, 土と微生物, **29**, 11-17 (1987)
- 74) 加藤邦彦, 鈴木達彦：各種土壌の B/F 値 (細菌数/糸状菌数) について, 土と微生物, **19**, 1-4 (1977)
- 75) Katznelson, H.: The "rhizosphere effect" of Mangels on certain groups of soil microorganisms, *Soil Sci.*, **62**, 343-354 (1946)
- 76) 小林紀彦, 駒田 旦：関東, 東山, 東海地域における *Fusarium* 病の発病抑止土壌の探索とその抑止性, 土と微生物, **45**, 21-32 (1995)
- 77) 小林紀彦：土壌伝染性病原菌の計数, 分離, 同定, 5-1, フザリウム, 土壌微生物実験法, 土壌微生物研究会編, p.74-81, 養賢堂, 東京 (1992)
- 78) 駒田 旦：作物の連作障害 (イヤ地) とは, 農土誌, **53**(1), 27-34 (1985)
- 79) 駒田 旦：野菜のフザリウム病菌, *Fusarium oxysporum* の活性評価技術に関する研究, 東海近畿農試研報, **29**, 132-269 (1976)
- 80) 駒田 旦：土壌フザリウム病の発生環境, 作物のフザリウム病, p.137-175, 全国農村教育協会, 東京 (1980)
- 81) 駒田 旦：作物間相互作用による連作障害回避, 農業環境を構成する生物群の相互作用とその利用技術, 農業環境研究叢書, **4**, p.185-201 (1989)
- 82) 駒田 旦：土壌病害に対する発病抑止型土壌, 農及園, **55**(1), 117-124 (1980)
- 83) 小松鋭太郎, 友部弘道, 松田 明, 石川昌男：野菜栽培における豚ふんの積極的利用, 農及園, **51**, 1131-1133 (1977)
- 84) Könnicke, G.: Fruchtfolgen, VEB, Deutscher, Landwirtschaftsverlag Berlin. (吉田彦彦訳), p.1-170 (1967)
- 85) 金野隆光：豆類の作付体系概説, 豆類, 北海道農作物耕種法シリーズ, 北農会編, p.8-20 (1977)

- 86) 昆 忠男：作付体系と地力管理，I. 作付体系，北海道農業と土壤肥料1987，日本土壤肥料学会北海道支部編，p.190-196 (1987)
- 87) 昆 忠男ら：土壤微生物研究のこれから，北農，57，36-42 (1990)
- 88) 久保田勝：畑水稻の連作障害について，土と微生物，15，1-11 (1974)
- 89) Ladd, J. N., Foster, R.C. and Skjemstad, J. O. : Soil structure : carbon and nitrogen metabolism, *Geoderma*, 56, 401-434 (1993)
- 90) Levy, M., Zehavi, U., Naim, M., Polacheck, I. and Evron, R. : Structure-biological activity relationships in alfalfa antimycotic saponins : The relative activity of medicagenic acid and synthetic derivatives thereof against plant pathogenic fungi., *J. Phytopathology* 125, 209-216 (1989)
- 91) Levy, M., Zehavi, U., Naim, M. and Polacheck, I. : An improved procedure for the isolation of medicagenic acid 3 - O - β - D - glucopyranoside from alfalfa roots and its antifungal activity on plant pathogens. *J. Agric. Food. Chem.*, 34, 960-963 (1986)
- 92) Lewis, J.A. and Papavizas, G. C. : Effect of plant residues on chlamyospore germination of *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* and on *Fusarium* root rot of beans., *Phytopathology*, 67, 925-929 (1977)
- 93) Lockhead, A. G. and Rouatt, J. W. : The "Rhizosphere effect" on the nutritional groups of soil bacteria, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 19, 48-49 (1955)
- 94) Lockhead, A. G. and Chase, F. E. : Qualitative studies of soil microorganisms, V. Nutritional requirements of the predominant bacterial flora, *Soil Sci.*, 59, 185-195 (1943)
- 95) Loper, J. E. and Schroth, M. N. : Influence of bacterial sources of indole-3-acetic acid on root elongation of sugar beet., *Phytopathology*, 76, 386-389 (1986)
- 96) MacRae, R. J., Hill, S. B., Mehuys, G. R., and Henning, J. : Farm-scale agronomic and economic conversion from conventional to sustainable agriculture, *Advances in Agronomy*, 43, 155-198 (1990)
- 97) Maloy, O. C and Burkholder, W. H. : Some effects of crop rotation on the *Fusarium* root rot of bean., *Phytopathology*, 49, 583-587(1959)
- 98) 丸本卓哉，高木滋樹，北村章，石田大作，田中秀平：拮抗能を持つ放線菌を利用したフザリウム病害の抑制，第4報，ポットおよび圃場試験における微生物資材Aの効果，土と微生物，49，17-25 (1997)
- 99) 丸本卓也：土壤バイオマス形成と窒素フロー，土肥誌，67，446-452 (1996)
- 100) Massiot, G., Lavaud, C., Besson, V., Le Men-Olivier, L. and Van Binst, G. : Saponins from aerial parts of alfalfa (*Medicago sativa*), *J. Agric. Food. Chem.*, 39, 78-82 (1991)
- 101) Massiot, G., Lavaud, C., Le Men-Olivier, L., Van Binst, G., Miller, S. P. F. and Fales, H. M. : Structural elucidation of alfalfa root saponins by mass spectrometry and nuclear magnetic resonance analysis, *J. Chem. Soc. Perkin. Trans. I*, 3071-3079 (1991)
- 102) 松田 明：土壤伝染病の生態的防除手段としての輪作と有機物施用，植物防疫，35，3，108-114 (1981)
- 103) 松田 明，下長根鴻：作物の病気と健康-土壤管理技術と土壤病害発生，土の健康と物質循環，日本土壤肥料学会編，p.93-116，博友社，東京 (1988)
- 104) 松田幹男，堀江正樹，本田勝雄，志村英二：畑輪作に関する研究，第11報 42年間にわたる連・輪作方式における畑作物収量の推移について，日作紀，49，548-558 (1980)
- 105) 松口龍彦：3 作付体系と土壤微生物，農林水産研究文献改題，9，作付方式・作付体系編，農林水産技術会議事務局編，p.185-193 (1982)
- 106) 松尾卓見：フザリウム病菌の種類と同定、作物のフザリウム病、p.17-59，全国農村教育協会，東京 (1980)
- 107) 松崎聖史，山田真人：微生物資材施用によるトマト根腐萎凋病の発病抑制効果，愛知農総試研報，29，245-249 (1997)
- 108) Miller, D. A. : Allelopathy in alfalfa and other forage crops in the United States, In allelopathy- basic and applied aspects, p.151-167, Chapman & Hall, London (1992)
- 109) Mishra, R. R. and Kanaujia, R. S. : Observations on soil fungistasis, III. Fungistasis in relation in soil depth, seasonal changes, soil

- amendments and physico-chemical characteristics of the soils, *Plant Soil*, **38**, 321-330(1973)
- 110) 水野直治, 吉田穂積, 牛木 純, 但野利秋：アロフェン質黒ボク土におけるジャガイモそうか病発生に対する施肥法の影響, *土肥誌*, **68**, 686-689(1997)
- 111) 成田保三郎：網走地方の黒色火山性土における連輪作畑の土壌微生物特性と連作障害の要因解明およびその対策に関する研究, *北海道立農試報告*, **50**, 1-44 (1984)
- 112) Newman, E. I. : A method of estimating the total length of root in a sample, *J. Appl. Ecol.*, **3**, 139-145 (1966)
- 113) 日本土壌肥料学会編：土の健康と物質循環, p. 1-245, 博友社, 東京 (1988)
- 114) 西尾道徳：土壌管理に伴う畑地および作物根圏の微生物バイオマスの変動, 日本土壌肥料学会編, 土壌のバイオマス, p. 169-194, 博友社, 東京(1984)
- 115) 西尾道徳：無菌的栽培と有菌栽培, 農業技術体系土壌施肥編, 土壌の働きと根圏環境, I 根圏環境をどうとらえるか, p. 13-20, 農文協, 東京 (1987)
- 116) 西尾道徳：連作障害の発生について, *土肥誌*, **54**, 64-73 (1983)
- 117) 西尾道徳ら：リン溶解菌とその農業利用の可能性, *土と微生物*, **28**, 31-40 (1986)
- 118) 新田恒雄, 松口龍彦：堆きゅう肥の根圏局所施用によるアズキ落葉病の制御, *土肥誌*, **59**, 140-148 (1988)
- 119) 新田恒雄, 松口龍彦：有機物施用による根圏生態系の改善が畑作物の生育・収量に及ぼす影響に関する研究, *北海道農業試験場研究報告*, **152**, 1-89(1989)
- 120) 野口勝憲：添加有機物の化学形態と土壌微生物活性, *土・水研究会資料*, 農環研, p. 25-44 (1990)
- 121) 野口勝憲：微生物資材開発の現状と課題, *土と微生物*, **49**, 51-67 (1997)
- 122) 農林水産技術会議事務局：連作障害要因に関する研究, *研究成果* **98**, p.10 (1968)
- 123) 農林水産技術会議事務局：地力維持・連作障害克服を基幹とする畑地新管理方式の開発に関する総合研究, *研究成果* **155**, p. 1-214 (1984)
- 124) 農林水産技術会議事務局作物分析法委員会編：栄養診断のための栽培植物分析法, p. 244-245, 養賢堂, 東京 (1976)
- 125) 大林延夫・近岡一郎：マリーゴールド利用によるキタネグサレセンチュウ防除法に関する研究, *神奈川園研報*, **21**, 91-102 (1973)
- 126) 小倉寛典：土壌中の残渣をめぐっての土壌病原菌の腐生競合, *土と微生物*, **21**, 11-18 (1979)
- 127) 大久保隆弘：作物輪作技術論, 農文協, p. 1-291, 東京 (1976)
- 128) 奥村正敏, 美濃健一, 三木直倫, 鈴木慶次郎, 山神正弘, 北川 巖：北海道中央地域に分布する火山性畑土壌の α -グルコシダーゼ活性ならびに微生物バイオマスと土壌物理性の相互関係, *土肥誌*, **69**, 340-347 (1998)
- 129) 奥村正敏, 松崎康範, 野村信史, 相馬 暁：テンサイの糖分向上と施肥窒素および堆肥の相互関係, *北海道立農試集報*, **59**, 21-29 (1989)
- 130) 奥村正敏, 堀田治邦, 東田修司, 下野勝昭：畑作物根圏の微生物性改善 (第6報), 窒素肥料を利用した菜豆 *Aphanomyces* 根腐病の耕種的防除, *土肥要旨集*, **37**, 42 (1991)
- 131) 奥村正敏・東田修司：十勝地方における土壌微生物研究の現状と問題点, *北農*, **58**, 6-16 (1991)
- 132) 奥村正敏：土壌管理による土壌病害抑止対策, 植物土壌病害の抑止対策, p. 83-116, 博友社, 東京 (1991)
- 133) Oleszek, W., Jurzysta, M., Ploszynski, M., Coloquhoun, I. J., Price, K. R., and Fenwick, G. R. : Zanic acid tridesmoside and other dominant saponins from alfalfa (*Medicago sativa* L.) aerial parts. *J. Agric. Food Chem.*, **40**, 191-196 (1992)
- 134) Oleszek, W. and Jurzysta, M. : The allelopathic potential of alfalfa root medicagenic acid glycosides and their fate in soil environment, *Plant Soil*, **98**, 67-80 (1987)
- 135) Oleszek, W., Price K. R., Coloquhoun, I. J., Jurzysta, M., Ploszynski, M., and Fenwick, G. R. : Isolation and identification of alfalfa (*Medicago sativa* L.) root saponins: Their activity in relation to a fungal bioassay, *J. Agric. Food. Chem.*, **38**, 1810-1817 (1990)
- 136) 尾崎政春, 児玉不二雄：Fusarium oxysporum による高級菜豆の根腐症, *日植病報*, **53**, 78 (1989)
- 137) Pankhurst, C. E., Doube, B. M. and Gupta, V. V. S. R. : Biological indicators of soil Health, CAB international, Wallingford, UK., p. 1-451 (1997)
- 138) Parkinson : In plant microbes relationship (J. Macura and Vancura eds.), *Czech Acad.*

- Sci. Prague, p. 69 (1965)
- 139) Pedersen, M. W., Zimmer, D. E., McAllister, D. R., Anderson, J. O., Wildling, M. D., Taylor, G. A., and McGuire, C. F. : Comparative studies of saponin of several alfalfa varieties using chemical and biochemical assays, *Crop Sci.*, **7**, 349-352 (1967)
- 140) Rao, D and Bories, G : Simple gas chromatographic method for the determination of medicagenic acid in Alfalfa (*Medicago sativa*), *J. Chromatography*, **410**, 169-175 (1987)
- 141) Rovira, A. D. : Root excretions in relation to the rhizosphere effect, *Plant soil*, **11**, 53-64 (1959)
- 142) Rovira, A. D. : Plant root exudates, *Bot. Rev.*, **35**, 35-57 (1969)
- 143) 佐々木健治, 高橋康利, 佐藤忠士 : 畑作物の連作障害と作付体系に関する研究, 岩手県立農試研報, **25**, p. 163-180 (1985)
- 144) 佐藤倫造 : Fusarium病菌, *Fusarium solani*, 北海道畑作物の土壤病害, 同書刊行会編, p. 242-250, 札幌 (1983)
- 145) 沢田泰男 : 緑肥の分解に伴う畑作物の生育障害に関する研究, 北海道農業試験場報告, **76**, 1-62 (1969)
- 146) Schroth, M. N., Toussoun, T. A. and Snyder, W. C. : Effect of certain constituents of bean exudate on germination of chlamydospores of *Fusarium solani* f. *phaseoli* in soil, *Phytopathol.*, **53**, 809-812 (1963)
- 147) 清水基滋 : *Aphanomyces cochlioides*による連作テンサイの生育阻害について, I 側根への感染がテンサイの生育におよぼす影響, 道立農試集報, **67**, 55-63 (1994)
- 148) 清水基滋 : *Aphanomyces cochlioides*による連作テンサイの生育阻害について, II テンサイの初期生育に及ぼす連・輪作土壤中の菌密度の影響, 道立農試集, 報**67**, 65-71 (1994)
- 149) 新園芸入門編集部編 : ハーブ, 作り方・楽しみ方, pp.159, 誠文堂新光社, 東京 (1990)
- 150) 新版土壤病害の手引き編集委員会 : 新版土壤病害の手引き, pp. 349, 日本植物防疫協会, 東京 (1984)
- 151) 植物栄養実験法編集委員会編 : 植物栄養実験法, p. 204-217, 博友社, 東京 (1990)
- 152) 植物栄養実験法編集委員会編 : 植物栄養実験法, p. 34-64, 博友社, 東京 (1990)
- 153) Snyder, W. C., Schroth, M. N. and Christou, T : Effect of plant residues on root rot of bean, *Phytopathology*, **49**, 755-756 (1959)
- 154) Souma, J., Kobayashi, K. and Ogoshi, A. : Relationship between root length density and decrease in population of *Phialophora gregata* f. sp. *adzukicola*, *Soil Microorganisms*, **45**, 33-39 (1995)
- 155) Stotzky, G. and Martin, R. T : Soil mineralogy in relation to the spread of *Fusarium* wilt of banana in Central America, *Plant Soil*, **18**, 317-337 (1963)
- 156) 菅原和夫, 品川 朗, 竹中 眞, 早川嘉彦 : ニラの生産する抗菌物質によるカーネーション萎凋細菌病菌の制御 (第1報) 土壤中のカーネーション萎凋細菌病菌の選択的抑制, 土肥要旨集, **37**, 38 (1991)
- 157) Sullia, S. B. : Effect of root exudates and extracts on rhizosphere fungi, *Plant Soil*, **39**, 197-200 (1973)
- 158) 鈴井孝仁 : インゲン根腐病の罹病がインゲンの生育ならびに収量におよぼす影響, 北農試研究報告, **104**, 121-129 (1972)
- 159) 鈴井孝仁 : 病害防除を目的とした微生物利用資材をめぐる諸問題, 肥料時報, **356**, 20-34 (1989)
- 160) 鈴木達彦 : 微生物活動と連作障害, 農及園, **55**, 101-106 (1980)
- 161) 鈴木達彦, 石沢修一 : 畑土壤の微生物および活性と肥沃度, 農技研報, **B15**, 91-186 (1965)
- 162) 鈴木達彦, 設楽惣助, 福田修一, 辰巳弘祐, 松田幸久, 塚内芳巳 : 作物根圏の微生物, 土と微生物, **22**, 47-63 (1980)
- 163) 竹中 眞, 渡辺敏朗, 菅原和夫, 菅原二三男, 吉田茂男, 原田靖生 : 薬用植物によるジャガイモそうか病菌の制御 (第1報) ローズマリーに含まれる抗菌物質について, 土肥要旨集, **38**, 58 (1992)
- 164) 竹下純則, 加藤邦彦, 鈴木達彦 : 施設栽培の連作障害に対する土壤微生物の研究, 土と微生物, **19**, 19-28 (1977)
- 165) 田中一郎, 北沢健治 : 菜豆根腐病について (第2報), 日植病報, **23**, 57 (1958)
- 166) 田中文夫 : ジャガイモそうか病の病原菌と環境制御による防除に向けて, 土と微生物, **48**, 33-39 (1996)
- 167) 十勝農作物増収記録審議委員会ほか : 十勝農作物増収記録会審査報告, p. 1-99 (1983)
- 168) 十勝農作物増収記録審議委員会ほか : 十勝農作物

- 増収記録会審査報告, p. 1-134 (1988)
- 169) 十勝管内土壌診断事業推進協議会ほか：十勝畑作地帯における施肥の実態, p. 1-135 (1989)
- 170) 十勝農業共同組合連合会：マメ科植物根粒菌技術研究史, pp. 286, 帯広 (1997)
- 171) Toyota, K., Kamesaka, T. and Kimura, M.: Autecology of *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* in soils suppressive and conducive to Fusarium-wilt of radish, *FEMS Microbial Ecology*, **16**, 261-268 (1995)
- 172) Toyota, K., Young, I. M., and Ritz, K.: Microbiological factors affecting the colonization of soil aggregates by *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*. *Soil Biol. Biochem.*, **28**, 1139-1145 (1996)
- 173) 土屋一成：野菜作におけるアレロパシーの諸問題, 農及園, **65**, 9-16 (1990)
- 174) 都留信也：高等植物と微生物, 土の微生物, 土壌微生物研究会編, p. 173-200, 博友社, 東京(1981)
- 175) 都留信也：連作障害の生態的特性とその研究的アプローチ, 農及園, **53**, 1333-1336 (1978)
- 176) 上田邦夫, 小林達治, 高橋英一, 大島正男：土壌中におけるフザリウム病菌の密度と幼植物の発芽抑制におよぼす有機物添加の影響, 土肥誌, **51**, 369-373 (1980)
- 177) 植原一雄：エンドウの連作障害について, 土と微生物, **15**, 21-25 (1974)
- 178) 宇井格生, 赤井 純, 内記 隆, 伊藤征男：連作およびオオムギ, 休閒跡地に栽培したインゲンの根腐病発生と被害, 北大農邦文紀要, **8**(4), 386-390 (1972)
- 179) 宇井格生：土壌中における条件的寄生菌の生活様式, 日植病報, **31**, 403-406 (1965)
- 180) Ushiki, J., Hayakawa, Y., and Tadano, T.: Medicinal plant for suppressing soil-borne plant disease, I. Screening for medical plants with antimicrobial activity in root, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **42**, 423-426 (1996)
- 181) Vance, E. D., Brookes, P. C. and Jenkinson, D. S.: An extraction method for measuring soil microbial biomass C., *Soil Biol. Biochem.*, **19**, 703-707 (1987)
- 182) Vandecasteele, S. C. and Baker, G. O.: Microbial activities in soil, Activity of specific groups of microbes in different soils, *Soil Sci.*, **45**, 315-333 (1938)
- 183) Varbel, G. E.: Rotation and nitrogen fertilization effects on changes in soil carbon and nitrogen, *Agron. J.*, **86**, 319-325 (1994)
- 184) Waller, G. R., Cheng, C. S., Chou, C. H., Kim, D., Yang, C. F., Huang, S. C. and Lin, Y. F.: Naturally occurring allelochemicals from mungbeans (*Vigna radiata*) and their surrounding soil, *Allelopathy J.*, **2**, 147-168 (1995)
- 185) Williams, L. E., and Schmitthenner: Effect of crop rotation on soil fungus populations. *Phytopathol.*, **52**, 241-246 (1962)
- 186) Wyman-Simpson C. L., Waller, G. R., Jurzysta, M., Mcpherson, J. K., and Young, C. C.: Biological activity and chemical isolation of root saponins of six cultivars of alfalfa (*Medicago sativa* L.), *Plant Soil*, **135**, 83-94 (1991).
- 187) 吉田武彦：根の活力測定法, 土肥誌, **37**, 63-68 (1966)
- 188) 吉田富男, 坂井 弘：北海道における各種土壌の微生物学的研究, 第1報, 各種土壌の微生物相とその作用. 北農試彙報, **79**, 36-44 (1962)
- 189) 吉田富男, 坂井 弘：北海道における各種土壌の微生物学的研究, 第2報, 土壌微生物相の季節的变化と有機物添加の影響, 北農試彙報, **79**, 45-50 (1962)
- 190) 吉田富男, 坂井 弘：北海道における各種土壌の微生物学的研究, 第3報, 有機物分解性細菌相について, 北農試彙報, **80**, 63-69 (1963)
- 191) 吉田富男, 坂井 弘：北海道における各種土壌の微生物学的研究, 第4報, 土壌微生物相におよぼすアルミニウムの影響, 北農試彙報, **82**, 21-27(1963)
- 192) 吉田富男, 坂井 弘：北海道における各種土壌の微生物学的研究, 第5報, 土壌の水分環境と微生物相について, 土肥誌, **34**, 155-160 (1963)
- 193) 吉田富男, 坂井 弘：北海道における各種土壌の微生物学的研究, 第6報, 土壌の水分環境と有機物分解について, 土肥誌, **34**, 197-202 (1963)
- 194) 吉田富男, 坂井 弘：豆科牧草の生育に伴う根圏微生物相の消長, 北農試彙報, **79**, 51-57 (1962)
- 195) 吉原照彦：土壌病害抑制と根由来抗菌物質, 植物防疫, **49**, 58-61 (1995)

Soil Microbial Properties in Various Rotation Systems and Ecological Control of Fusarium Root Rot of Kidney Beans in the Tokachi District

by
Masatoshi OKUMURA

Synopsis : The rotation system in upland fields greatly contributed to maintain crop productivity. To support high crop productivity and microbial activity of the upland soils in the Tokachi district of Hokkaido, sugarbeets and wheat should be appropriately incorporated into the rotation system. Microbial activities were high and microflora was improved in the subsequent soils when sugarbeets and wheat were planted. These two crops were also important for controlling Fusarium root rot of kidney beans. Various plants tested as green manure crops showed an antagonistic reaction in controlling the root rot, and alfalfa would be the feasible plant under the present rotation system. At the same time, an adequate fertilizer management was prerequisite in the suppression of Fusarium root rot through the control of soil pH, available phosphate and exchangeable potassium. Among the various advantages of the rotation system, the improvement of soil microbial activity, fungistasis and antagonism against pathogens played the important role in the maintenance or increase of soil fertility. An appropriate rotation system will make crop productivity sustainable through various favorable effects, especially with the control of the soil microbial properties.

Various types of rotation systems have been practiced in the large-scale farming areas in the Tokachi district of Hokkaido. The relationship among rotation cycles, crop sequences and productivity has not yet fully understood, however. To clarify the relationship between the fluctuations of several soil microbial properties and crop productivity, the rotation experiment was carried out with sugarbeets, potatoes, kidney beans and wheat. Besides, the ecological control of Fusarium root rot of kidney beans was studied both from the views of soil chemistry and soil microbiology. For this purpose, crop sequences, fertilizer application and green manure management were taken into consideration.

1) Crop yield and soil microbial properties in various rotation systems

Four crops have been planted in 4- (control), 3-, 2-year rotation cycles and continuous cropping in low-humic Andosol from 1985 to 1994. Several crop combinations were practiced : 2, 3 and 5 crop sequences in 4-, 3- and 2-year rotation, respectively. Yields of sugarbeets and kidney beans declined in the rotation cycle of 3 years or less, and those of potatoes and wheat declined in the rotation cycle of 2 years or less. The averaged declining rate of yield due to continuous cropping over the whole experiment period was in the order of kidney beans > wheat > potatoes > sugarbeets.

Crop productivity was affected with both the rotation cycle and previous crops. The influence of the former was greater than the latter except in the case of potatoes. Yields were higher in subsequent crops after sugarbeets planting and in any rotation systems in which sugarbeets and wheat were incorporated.

In this paper, soil microbial properties were characterized with microflora and microbial activities. The former was estimated with the number of total bacteria (T-B), crystal violet tolerant bacteria

(CV-B), actinomycetes and fungi, and the latter with soil respiration ($\text{CO}_2\text{-C}$), cellulase and phosphatase activities, biomass-C (BM-C) and biomass-N (BM-N).

Of those microbial properties, the number of T-B, CV-B and all microbial activities in the rhizosphere were higher in sugarbeets and potatoes than in kidney beans and wheat. In the rotation systems where the crop productivity was declined due to a shortened rotation cycle, the number of T-B, CV-B and all microbial activities in non-rhizosphere soils were decreased. All microbial activities were high in the rotation systems whenever sugarbeets and wheat were included, whereas those in the soils planted with kidney beans and potatoes declined when the rotation cycle was short.

Microbial activities and the amount of microbial substrates in non-rhizosphere soil were positively correlated with each other, and also with the number of T-B. Therefore, the quantity and quality of substrates affected the microbial properties. The amount of residues as substrates was large in the order of wheat \geq sugarbeets \gg potatoes $>$ kidney beans. The wheat residue degraded slower than that of other crops did. However, the wheat residue enhanced the microbial population and activities with an advancement of rotation cycles. Soil microflora was characterized with crop species, and can be classified into three types; (1) bacteria-type (sugarbeets), (2) fungi-type (kidney beans and wheat), and (3) intermediate-type (potatoes). This classification was applicable both in the rhizosphere and in the non-rhizosphere soil.

Incorporation and adequate arrangement of sugarbeets and wheat were essential to the desirable rotation system.

2) Soil microbial properties and *Fusarium* root rot of kidney beans

The yield decline of kidney beans in continuous and short cycle rotation system was due to the incidence of *Fusarium* root rot caused by *F. solani* f. sp. *phaseoli* (*F. s. p.*), *F. oxysporum* was also identified as a pathogen from the rot roots. The disease severity index (DSI) was positively correlated with the population of *Fusarium* spp. both in the rhizosphere in June and in the non-rhizosphere soil before planting of kidney beans. When the rotation cycles was shortened, the root rot increased. The microbial activities declined in the continuous cropping because the amount of microbial substrates was reduced. At the same time, the T-B population decreased, but fungi population increased. The inoculation experiment using the soils with different microbial activities showed that the decline of microbial activities and the increase of fungi elevated the DSI.

In the 2-year rotation, the DSI was most reduced when sugarbeets were planted as a previous crop (sugarbeet soil), followed in the order of potatoes $>$ wheat $>$ kidney beans at the beginning of the experiment. With the progress of rotation cycles, however, the DSI was largely improved in the wheat soil. The microbial activities were highest and the population of *Fusarium* spp. was smallest in the sugarbeet soil. The microbial activities gradually increased in the wheat soil as the rotation cycle went on.

The quality of crop residues in the previous year affects the growth and activity of *Fusarium* and the other soil microorganisms. The sugarbeet residue in the soil *per se* was rich in bacteria and poor in fungi and *Fusarium* spp. : v. s., the kidney bean residue. The sugarbeet residue and the kidney bean residue were greatly utilized by *F. s. p.* in the sterile soil, but the population of *Fusarium* spp. declined in the non-sterile soil in which the sugarbeet residue was incorporated.

The microbial activities, the ratio of T-B to fungi (B/F ratio) and the ratio of T-B to *Fusarium* spp. (B/Fus ratio) increased in the soil into which easily decomposable substrates were incorporated. In contrast, microbial properties were not changed in the soil when hardly decomposable substrates were incorporated.

These results showed that the microbial activities and microflora were changed with the characteristics of residue decomposition. When sugarbeets and wheat were the previous crops, general antagonisms

inhibited the pathogen competitively.

The DSI was highest during the period of 3 to 6 years of continuous cropping, but the disease incidence was improved after 5 to 7 years onward. Fluorescent pseudomonads in the rhizosphere increased with the decline of root rot. It possessed an antifungal activity against *F.s.p* stronger than T-B and CV-B. Thus, specific antagonism might prevail under continuous cropping. Such specific antagonism was also pronounced in the soils after sugarbeets planting.

3) Effect of soil physicochemical properties on *Fusarium* root rot and its control by fertilizer management

Result of continuous cropping for 4 years showed that the averaged DSI was higher in low-humic Andosol and alluvial soil, and lower in high-humic Andosol and diluvial soil. Soil chemical, physical and biological properties were linked with the suppression of root rot: e. g., low pH(5.2) and fine texture in the diluvial soil ; high water retention capacity and high microbial activities in the high-humic Andosol.

Nitrogen fertilizer containing carbon sources (e. g., CDU and urea) were effective for the control of root rot through the stimulation of soil microbial activities. I recommend the following three soil diagnosis standards: soil pH at approximately 5.5, available phosphate (Truog-P) larger than 20 mg P_2O_5 per 100g soil and exchangeable potassium under 30 mg K_2O per 100g soil. The difference of disease suppressiveness among soils should be further clarified in the future.

4) Ecological control of *Fusarium* root rot with antagonistic plants

Fifty-two plant species (e. g., vegetables, green manure crops, herbs and flowers) were screened to find which plant showed the most preventative capability against the root rot. Alfalfa was selected as the most feasible antagonistic plant, which could be possibly incorporated into the present rotation system.

There are two choices of alfalfa incorporation into the rotation system. One of them is a planting even for a short period after the harvest of wheat or early growing potatoes, and the other one is a fallow manure planted throughout the year.

The methanol extract of alfalfa roots showed a strong antifungal activity against the pathogen. The antifungal substances such as saponins contained in roots were possibly the ones showing preventative capability against root rot. In addition, the increase of fluorescent pseudomonads would contribute to disease prevention because their population was increased with alfalfa planting.



写真1 本研究で実施した連輪作試験圃場の全景



写真2 インゲンマメの健全株（左）と根腐病罹病株（右）



写真3 連作の継続によるインゲン根腐病の発病推移(7月中旬, 1990) 左から(2本ずつ), 4年輪作, 連作2, 3, 4, 5, 6年目



写真4 アルファルファ前作秋作付後の翌年春すき込み時の生育



写真5 インゲンマメ連作圃場におけるアルファルファの作付様式と後作インゲンマメの生育(1994)

a : 連作区(アルファルファ無作付) b : アルファルファ秋1回作付
c : アルファルファ秋2回作付 d : アルファルファ交互作