

都内黒ボク土畑における長期間にわたる営農活動が 土壌の理化学性および作物生産に及ぼす影響*

加藤 哲郎

キーワード：黒ボク土，有機物連用，施肥管理，土壌理化学性経時変化，作物収量

目次

．緒言	2	収量に及ぼす影響	22
1．土壌の種類と特性	2	土壌中の理化学性に及ぼす影響	23
地形と土壌の概要	2	．堆肥施用とロータリー耕転の組み合わせが	
23区および三多摩の農耕地		黒ボク土の理化学性および作物収量に及ぼ	
土壌の生産力	2	す影響	35
肥料・土壌改良資材などの使用実績	2	1．緒言	35
2．黒ボク土の特性	3	2．材料および方法	35
3．研究の背景・目的・ねらい	4	3．結果および考察	36
研究を要する背景	4	．黒ボク畑土壌における作土層の深さが	
研究の目的	6	土壌の理化学性と作物収量に及ぼす影響	47
4．論文の構成	6	1．緒言	47
．長期間の営農活動が黒ボク土の理化学性		2．材料および方法	47
の変動に及ぼす影響	9	作土層の深さと標準施肥・多肥との	
1．緒言	9	組み合わせ（第1実験）	47
2．調査場所および方法	9	作土層の深さと標準施肥・減肥との	
3．結果および考察	9	組み合わせ（第2実験）	48
都内農耕地における肥料の施用		3．結果および考察	48
と土壌管理状況の変動	9	作土層の深さと標準施肥・多肥との	
15年間における都内黒ボク土		組み合わせ（第1実験）	48
畑土壌の理化学性の変動	11	作土層の深さと標準施肥・減肥との	
．堆肥の長期連用が黒ボク畑土壌の		組み合わせ（第2実験）	50
理化学性と作物収量に及ぼす影響	21	．総括	55
1．緒言	21	摘要	60
2．材料および方法	21	謝辞	62
3．結果および考察	22	引用文献	62

* Effects of Agriculture Activity for the Long-term Interval using the Andosol Field and the Physico-chemistry Retentivity on Crop Productivity in Tokyo Metropolitan. By Tetsuo KATO (Received February 2, 2003 ; Accepted March 1, 2003)

・ 緒 論

1. 土壌の種類と特性

(1) 東京の地形と土壌の概要

土壌にとって地形は密接に関係するが、東京都内における地形は大別すると西から西部山間地、中間部の台地、東部の低地からなっている。また、西部山間地から流れる多摩川や秋川、浅川などの流域にも細長く低地が分布する。さらには、主として火山活動で出来上がった伊豆諸島や小笠原諸島の島しょ地域が存在する。面積的には台地上に分布する土壌が最も多い。台地や低地以外では複雑な地形をもつ場所もある。その地形や地域によって土壌の種類や特性も異なっている。東京都の土壌の特徴としては、島しょも含めた全農耕地の大半が黒ボク土であることがあげられる。そして多くの種類の土壌統が分布することから分かるように、各地に小面積ずつ多くの種類の土壌が存在していることも特徴のひとつといえる(表1-1)。

地域ごとの地形や土壌の特性をみると、山間部では斜面地が多く、土壌中に礫もみられる。粘質で重い土壌のため、耕耘はしにくい。台地部や低地の土壌は平坦な地形の上に載っており、礫も少なく生産力の高いものである。東京都内の農耕地はこの台地や低地に多くの面積がみられる。

東京の土壌の種類を土壌群としてとらえると、西部山間地では主に畑地利用としては、黒ボク土のほか褐色森林土や暗赤色土などがみられる。山間部や丘陵地を流れる小河川の流域では黒ボクグライ土、多湿黒ボク土、グライ土、褐色低地土などの水田土壌も小面積ずつ分布している。台地部は大半が黒ボク土で占められている。大河川周辺や23区の低地の土壌は水の影響を受けてきたもので、多摩川流域では灰色低地土が多く、江戸川流域から荒川水系にかけては黒泥土がみられる。灰色低地土は場所により砂壤土から埴壤土まで幅があるが、もともとは河川からの養分を取り込んでおり、土壌自体は良好なものである。しかし土層が浅く、すぐに礫層になる地点も多く、総合的にみると生産力は高くはない。黒泥土は土層が深い、地下水位も高く、必ずしも農作業の行ないやすい土壌ではない。そのため、大

半の地点が黒ボク土下層部の赤土で埋め立てられており、その上で農業が行われている。

(2) 23区および三多摩の農耕地土壌の生産力

農耕地土壌の生産力は、その程度によって第 等級から第 等級まで農林水産省の基準で分けられている(農水省農産園芸局・土肥学会, 1991; 東京都農試, 1978; 東京都農試, 1979~1997)。第 等級は、「正当な収量をあげ、または正当な土壌管理を行なう上に、土壌的にみてほとんどあるいは全く制限因子あるいは阻害因子がなく、または土壌悪化の危険性もない良好な耕地とみなされる土地」と規定されている。第 等級は、「同じく土壌的にみて若干の制限因子あるいは阻害因子があり、あるいは土壌悪化の危険性が多少存在する土地」、第 等級は、「同じく土壌的にみてかなり大きな制限因子あるいは阻害因子があり、あるいは土壌悪化の危険性がかなり大きい土地」、第 等級は、「きわめて大きな制限因子あるいは阻害因子があり、あるいは土壌悪化の危険性がきわめて大きく、耕地として利用するにはきわめて困難と認められる土地」を指している。

東京都においては、生産力可能性等級でみた場合、
 ・ ・ 等級に耕地土壌のすべてが含まれ、等級は存在しない。しかも 等級は普通畑では普通畑全体の約20%程度であり、水田ではほとんどみられない。その点からいえば東京の耕地土壌の生産力について特に大きな問題点はない。普通畑では、等級で問題となる基準項目は有効土層の深さ、表土の礫含量、耕耘の難易、土地の乾、自然肥沃度、養分の豊否、障害性、傾斜の8項目であり、これらが単一にあるいは組み合わせられた阻害要因として出てくる。このうち一番出現するのは「土地の乾」であり、面積的にも多い。等級の分布は東京都内全域では、区部と北多摩地域にはほとんどなく、西多摩地域、南多摩地域、島しょ地域に点在する。しかし基準項目では 等級に入らないがさらに細目の要因項目で見たとき、要因強度があまりよくない3, 4に入るものが全地域に見られる。それらで問題になるのが特にリン酸固定力である。母材が火山灰であるためリン酸吸収係数が高く、リン酸の補給が必要なところも存在している。

(3) 肥料・土壌改良資材などの使用実績

肥料や土壌改良資材の使用量は土壌理化学性や

作物生産に大きな影響を与えるが、東京都内で使用されている化学肥料、有機質肥料、堆肥類の実数は現在のところ十分に把握された数字は統計資料としては少ない。肥料の流通は農協、商社、個人と多種あるため、実態をつかむことは難しい。また、堆肥類についても、都内産のほかに他県から個人的な取引による流入が多いことや、落葉堆肥、わら堆肥など自給的に作られているため、その流通実態を正確には把握できない。

しかしその中でも都内の小売業者または農協に出荷している生産業者および卸売業者を調査して得た「都内出荷状況報告」(東京都肥飼料検査所, 2000)をもとにして東京都で都内消費量を取りまとめたところ、平成10年7月から11年6月までの普通肥料の合計消費量は17,780tであった。普通肥料に関する種類別消費量の内訳は、平成10年7月から11年6月までで単肥が約1,542t、複合肥料9,689t、石灰類2,875t、有機質肥料3,673tとされている。実際の流通量はこれらの量よりも多いことが想像される。

堆肥類の消費量はほとんど把握されていないが、家畜数などから、ある程度流通にのっている家畜ふんを中心とした堆肥の生産量については多少把握されている。都内で飼育されている家畜数は平成9年度で、乳用牛と肉牛が約5,800余頭、豚が6,000余頭、採卵鶏と肉用鶏の合計が約19万余羽である。堆肥類の生産量は平成10年で23,934t、平成11年で26,120tであった(東京都肥飼料検査所, 2000)。内訳は平成11年では牛ふん堆肥が21,227t、豚ふん堆肥が1,524t、その他の堆肥が3,369tとされており、牛ふん堆肥が全体の約81%を占めている。鶏ふんについては堆肥だけでなく、一部普通肥料の原料に利用されるものもある。このほか、落葉や植物残渣、わら、剪定枝などを原料にして自家生産されている堆肥が多数あり、東京都内での堆肥の消費量はさらに多いものと考えられる。

汚泥肥料の生産量は平成10年で31,630t、平成11年で38,991tであった(東京都肥飼料検査所, 2000)。内訳は平成11年では食品工業汚泥が29,963t、し尿汚泥1,366t、その他の汚泥が5,002tで、食品工業汚泥が全体の約77%を占めている。また東京都農業試験場が平成6年から9年に都内農

家約120地点で行った肥料施用量調査では、化学肥料の都内平均施用量は1ha・1作あたり窒素-リン酸-カリの成分量で154-178-157kg程度であった。また堆肥類の施用量は年間平均で1haあたり約22tであった。

2. 黒ボク土の特性

東京都内の農耕地土壌の種類は多いが、水田と畑利用の全農耕地約9,190haのうち約88%は黒ボク土が占めている(農水省農産園芸局・土肥学会, 1991; 東京都農試, 1978; 東京都農試, 1979~1997)(表1-2)。都内全域の普通畑と樹園地の畑利用だけの土壌では、約93%が黒ボク土である(表1-3)。また黒ボク土については腐植層の厚さと腐植含量などによって5種類の土壌統群に分けられるが、東京都内全域の普通畑と樹園地をあわせた黒ボク土全面積の約61%は表層多腐植質黒ボク土が占めている。次いで厚層腐植質黒ボク土が約15%、表層腐植質黒ボク土が約12%、淡色黒ボク土が約10%で、厚層多腐植質黒ボク土は約2%である。島しょを除いた区部と三多摩だけに限ると、畑地利用している黒ボク土全面積の約71%は表層多腐植質黒ボク土が占め、次いで厚層腐植質黒ボク土が約18%、表層腐植質黒ボク土が約8%、厚層多腐植質黒ボク土が約2%で、淡色黒ボク土は1%以下である(表1-4)。島しょよりも区部や三多摩の方が土壌腐植の高い土壌が多い。

東京都内の黒ボク土の断面的な特性として、厚層多腐植質黒ボク土は腐植層の厚さが約1mほどで、腐植含量が11~12%前後で、土色がマンセル土色で7.5YR2/1~7.5YR2/2程度と黒味が強い。表層多腐植質黒ボク土は腐植層の厚さが約50cm前後で、腐植含量が10~12%ほどで、土色が7.5YR2/1~7.5YR2/2程度である。厚層腐植質黒ボク土は腐植層の厚さが約70cm~1mほどで、腐植含量が8~10%程度、土色が7.5YR2/2~7.5YR2/3の範囲に入るものが多い。表層腐植質黒ボク土は腐植層の厚さが約35~45cm前後で、腐植含量が7~10%程度、土色が7.5YR2/3~7.5YR2/4の範囲が多い。淡色黒ボク土は顕著な腐植層がみられない場合のほか、表層に数cm~15cm程度腐植層をもつものもある。淡色黒ボク土の表層部分の腐植含量は4~5%程度である。土色は、やや腐植の含まれる表層に近い軟らかい赤土部分で

7.5YR3/4~7.5YR4/4程度,下層の腐植の少ない硬い赤土部分で7.5YR4/5~7.5YR4/6程度である。

黒ボク土の特性については,東京都内でも最も面積の大きな表層多腐植質黒ボク土を中心に述べる。表層多腐植質黒ボク土は区部から北多摩や西多摩,南多摩の台地上に広く分布しており,おかれている地形面は大半が平坦地である。一般的な特徴として,有効土層は深く1m以上ある。表層の土性は大部分の地点が埴壤土であるが,有機物が多いため壤土的な感じを受ける。土色は黒褐色で一部極暗褐色や暗褐色もみられる。これは腐植の色に由来するものである。深さが約50cm以下では腐植分も少なく,土性は埴土で,土色は下方になるほど鮮やかな褐色をしている。腐植分は,土色が7.5YR4/6を示す部分では3~4%前後である。場所によっては水の影響を受けた小円礫を土壌中に含むこともあるが,通常深さ1m以内に大きな礫はほとんどみられない。腐植分の多い表層部分では仮比重や固相率が小さく,非常に軽い土壌である。腐植分の少ない下層土では仮比重が大きくなり表層よりは重くなっている。有効水分は表層・下層土とも有効水分は高く保水力があるが,細かい孔隙が多いため透水性や通気性もよい。

土壌の化学的特性としては,東京都内の黒ボク土は雨量の多いこともあり,表層・下層土とも交換性石灰や交換性苦土,交換性カリなどの塩基含量は少ない。土壌pHは土壌中に陽イオン物質も陰イオン物質も少なかったため,もともとは弱酸性を示していたが,農作物を栽培することで塩基分が吸収され土壌の表層土は酸性化していった。しかし50~60cm以下の下層土では農作物の影響も少ないため,弱酸性から中性を示す土壌が多い。表層の酸性土壌については,農家及び農業指導機関の努力などにより,石灰質資材はじめ各種肥料の施用が十分に行われ,今日では土壌pHは上がってきている。それとともに表層部分では各種の塩基類も増加している。しかし腐植の多い表層土は,保肥力の目安になる陽イオン交換容量が大きいため,必ずしも塩基飽和度や石灰飽和度の高過ぎる地点は多くない。

黒ボク土の特徴の一つとしてリン酸吸収力の強いことがあるが,そのため供給も少ない自然状態では,表層・下層土とも可給態リン酸はほとんど含まれていない。土壌改良のためリン酸資材の施用に努

めた結果,栽培に必要な含量になってきた。さらに多量に施用した地点では蓄積もみられている。表層土で乾土1kg当たり1000mgを越える地点も多数存在する。しかし耕耘がされない下層では非常に低い値を示している。

東京における土壌の特徴のひとつとして,人工的な改変がある。黒ボク土でも人為的に手の加わった土壌は多い。その中でも50cm程度の深耕と,多腐植質や腐植質の黒ボク土に有機物含量の少ない赤土といわれる黒ボク土心土の客土,傾斜地での平坦化による切り土・盛り土などが比較的好くみられる。深耕をした農地の理化学的な特徴として,腐植層が薄く下層の赤土部分を混ぜ込む場合は,土壌中の腐植や肥料濃度が低下するため,堆肥やリン酸などの補給が欠かせなくなる。腐植層の厚い場合の深耕では,土壌の変化は比較的少なく,土壌中の有機物含量の低下もあまりみられない。表層の肥料分が深耕した範囲内全体に拡散されるため,表層に肥料分が集積している場合はむしろ濃度障害の危険を回避することにもなる。

赤土を客土した土壌の特徴として,もともとは多腐植質の黒ボク土であり,基本的にはその性質を保持している。しかし機械力などで土壌を動かしているため,層位や構造は変化している。また機械に鎮圧され,仮比重や固相が大きくなってことが多い。気相も小さくなり,硬くしまった土壌になりやすい。さらに赤土中には有機物やリン酸,塩基類が少ないため,土壌中の有機物含量や有効態リン酸含量の低下,さらには陽イオン交換容量も小さくなる。そのため,堆肥の施用や必要養分の補給が深耕した場合と同様に必要となる。交換性石灰や交換性苦土などの塩基分は交換性苦土入りの石灰資材の施用で比較的短期間で増加できるが,陽イオン交換容量が客土前よりも低下しているため,塩基飽和度は高くなりやすい。

3. 研究の背景・目的・ねらい

(1) 研究を要する背景

これまで東京の農耕地を対象に行われてきた土壌肥料的な試験・研究としては,昭和22年から45年まで行われた低位生産地調査,昭和28年から36年までの施肥改善事業,昭和29年から36年までの

土地改良区施工地区土壌調査，昭和 27 年から 30 年までの耕土培養事業，昭和 34 年から 53 年までの 20 年間にわたって行われてきた地力保全対策調査事業，昭和 54 年から現在まで実施されている土壌実態調査などがある（表 1-5）。そのほか，昭和 10 年頃から昭和 60 年まで約 50 年にわたって黒ボク土畑で小麦を対象に実施された，稲わら堆肥の連用試験もある。

これらの具体的な成果としては，東京都内の土壌についてその特性を面的に把握することができ，生産力の低い圃場の実態把握と改良対策，土壌中の施肥状態に合わせた施肥法の確立などを行なうことができ，その時々においては重要な役割を果たしてきた。しかし，土壌は営農に従って時間とともに変化するものであり，一度だけの調査ではその時点での状態を把握するだけとなって，将来にわたって生産を維持するための方策を立てるには不十分である。黒ボク土畑で行われた堆肥連用試験においても，戦前に主流であった陸稲や小麦を対象としており，栽培が盛んに行なわれていた当時では貴重なデータが得られたが，現在では野菜類が中心となっているため，そのまま活用を図ることは難しくなっている。

言い換えれば，これまでの東京都内での土壌などに関する既往の試験・研究では，土壌を面的に調査しており，土壌の物理的状态や各種成分の含有量の分布が得られている。しかし土性や礫含量，土壌有機物含量などは比較的变化しにくい，土壌 pH のほか，リン酸や交換性石灰，交換性苦土，交換性カリなどの成分は営農活動で容易に変化するため，あくまで調査時点での含量把握にとどまってきた。ある時点での土壌状態や地力，特性などを知る上では重要な成果であるが，長期的に行なわれる営農の中では時間とともに土壌の状態も変化すると考えられ，定期的な調査・分析が不可欠と考えられる。そのためこれまでの既往の試験・研究をさらに進め，東京の農業における生産力の維持増強を土壌肥料的な側面から支えるために，時間という要素を加えた試験・研究も必要となると考えられる。また野菜類についての東京都内の黒ボク土での連用試験は東京都農業試験場でもほとんどみられず，短期的な試験・研究にとどまってきた。

東京都内の農耕地土壌は全国的にみても理化学

性に優れ生産力の高い土壌である。都市の中にあっても野菜類などを中心に多くの生産量を誇っており，消費地に近く，また緑地空間的な機能を持ち，都市のなかでその存在意義は大きい。しかし，これを農地として維持するためには経済的に見合う生産が行われていなければならない。そのためには農耕地土壌を常に良好で生産力の高い状態に保つ必要がある。東京のようにもともとは良好な土壌であっても，営農活動にともなって土壌にマイナスの負荷や変化を与えていることは否定できない。例えば，大型農業機械の発達によって耕耘作業は手作業や小型農業機械に比較して速くかつ楽になったが，作土下の圧密化や浅層化，土壌団粒の粉状化がおきることが予想される。また，安価な化学肥料の普及により重い人ぶん尿や家畜ふんの施用から解放されただけでなく，土壌中の養分不足の解消を簡単に行なうことができるようになった。しかしそのような安い化学肥料の大量投入や化学肥料一辺倒が，過剰施用を招くことになり，養分過剰や塩基成分間のバランスの崩れなどが指摘されるようになってきた。特に東京のように，小面積の農耕地を効率よく何回も利用して，栽培期間の短い軟弱野菜などの生産を行なうような状況においては，前作に施用した肥料分が残っているうちに次の施肥を行なうこととなり，過剰施用が助長され，東京都農業試験場の調査では，土壌中の可給態リン酸や交換性カリの含量が必要量の 5～6 倍以上の 2,000ppm を超えるような地点も一部で見られるようになってきた。また 1950 年代あたりまでは土壌中の交換性石灰含量が少なく，土壌も pH 4～5 程度の野菜畑が多かったが，酸性土壌改良のもとに石灰資材投入が盛んに行なわれ，多くの地点が適正 pH の 5.5～6.5 程度におさまるようになってきた。反面，土壌中の交換性石灰含量が 10,000ppm を超える土壌もみられるようになった。過剰施用による土壌への蓄積でハウレンソウやキャベツなど一部の葉菜類では葉色の異常や奇形のでる例も農家でみられることもある。さらには土壌中への養分の浸透なども懸念される。これらに対処し，高い農業生産を持続させるためには，営農活動が行われている農耕地土壌の実態とそれに伴う経時的な土壌中成分の変動把握が欠かせない。

(2) 研究の目的

土壌は、本来もつ自然の因子である母材や粘土鉱物の種類、土性、礫岩量、有機物含量、養分含量、土層の厚さなどによって特性や性質が規定され、さまざまな種類のものが存在する。そして土壌のもつ農業生産力は、自然条件による部分が大きい、同時に営農活動などによる人為的な影響が加わることで、土壌自体大きく変化し、農業生産力をも左右してくる。人為的な要因としては、施肥や堆肥施用、土壌改良材施用、耕耘などがあるが、さらに東京都の農耕地では都市近郊という環境も土壌に与えるインパクトの一つであるといえる。東京都内近郊農業において、将来にわたって安定的に農業生産を維持するためには、このような人為的要因によってどのように土壌が変化するかについての研究を通して、良好な土壌状態に近づける方策を検討する必要がある。

そのため土壌調査に関しては、時間的な要因を加え、例えば同じ圃場について一定の期間をおいて定期的に調査を実施するなどの必要が出てきた。堆肥連用に関しても現状に合わせ、現在東京都で広く使われている堆肥を用い、栽培面積の多い作物を対象に試験・研究を行ったり、そのほか、ロータリー耕耘など最近、日常的に使われるようになった農業機械の使用が農耕地土壌の理化学性に及ぼす影響について試験・研究などを進めることが求められるようになってきた。

これまでの前述した各種の報告では、畑地土壌の特性把握のほか、堆肥の施用効果や作物生産の阻害要因、堆肥による化学肥料の減肥の可能性、土壌物理性の向上、化学性への効果などが認められている。しかし野菜類についても、いろいろな種類を次々と栽培する機会が多く、キャベツとダイコンだけの単一の作物での試験はみられない。また堆肥についても、わら堆肥(六本木ら, 1992ab, 1993)やおがくず入り牛ふん堆肥(大橋ら, 1982, 1985; 清水ら, 1980), 豚ふん堆肥(安西・松本, 1987; 安西, 1988)などの利用が多く、東京都内で比較的使用量の多い牛ふんパーク堆肥の施用例は少ない(東京都肥飼料検査所, 2000)。さらに地理的に東京という都市近郊での堆肥長期連用例もみられない。そのためこれまで実験例の少ない東京での野菜栽培をとらえて試

験・研究を実施した。また耕耘方法や不耕起栽培などについては、前述のように、水稻を対象に不耕起直播による根の活力に関する研究や不耕起移植による初期生育と登熟期の特徴、土壌の理化学性などに関する研究はみられるが、黒ボク土野菜畑でのロータリー耕耘についての研究例はほとんどない。

これまでの既往の試験・研究をさらに進め、東京の農業における生産力の維持増強を土壌肥料的な側面から支えるために、あるいは環境に配慮した農業を推し進めるため、農林水産省の土壌保全調査事業の中で実施された土壌環境基礎調査等を軸に、いろいろな角度から検討を試みた。土壌調査に関しては、東京都農業における主要土壌である黒ボク土を対象とし、時間的な要因を加え、同じ圃場について一定の期間をおいて定期的に調査を実施した。これにより営農活動にともなう土壌の物理・化学的变化を把握でき、今後も土壌を良好に保ち、持続的な農業生産のための土壌管理法および施肥法などを検討した。堆肥連用に関しても、現在東京都で広く使われている堆肥を用い、栽培面積の多い作物であるキャベツとダイコンを対象に、しかも東京都内で行なわれている連作状態で試験・研究を行った。そのほかロータリー耕耘の有無が野菜類の収量と黒ボク土の理化学性に与える影響、作土層の深さが野菜類の収量と土壌の理化学性に与える影響について調査・試験を実施した。これらの結果を考察することにより、黒ボク土における野菜栽培の基礎的な知見を得るとともに、東京都農業において持続的な農業生産をはかるための土壌肥料的、栽培学的な方策の提言を試みたものである。

4. 論文の構成

本論文は5つの部分からなり、緒論では、東京都内の土壌の種類、特に黒ボク土の特性について都内全域 1,000 力以上の土壌調査・分析結果から得られた結果を述べるとともに、研究の背景・目的・ねらいについて述べた。以下本文では、はじめに最近15年間の営農活動の変動が黒ボク畑土壌の理化学性に及ぼす影響について、都内80力以上の黒ボク土畑土壌の経時的な土壌調査・分析結果から考察した。2番目は堆肥の長期連用が黒ボク畑土壌の理化学性と作物収量に及ぼす影響について、20年間以上

の調査結果から述べたものである。3番目は堆肥施用とロータリー耕耘の組み合わせが黒ボク畑土壌の理化学性及び作物収量に及ぼす影響について述べたものである。4番目は黒ボク畑土壌における作土層の深さが土壌の理化学性及び作物収量に及ぼす影響について述べたものである。5番目は研究結果に対する総括をした。各種試験結果からみた黒ボク土壌の特性、営農や堆肥、耕耘方法などが黒ボク土壌における営農に与える影響と対策、今後の黒ボク土壌

の管理に関する方向性などについて考察したものである。

以上、本論文は長期間にわたる現地農耕土壌での多数の調査および圃場での栽培試験、各種分析を通して得られた結果であり、今後の東京都農業の持続的な生産を維持する上で、基礎的なデータとしてはもとより、適切な土壌管理や施肥管理、堆肥施用対策などの指針として寄与するものである。

表 1-1 農耕地の土壌統別分類

土壌統	土壌統群	面積比率
内 灘	砂丘未熟土	1.1
久米川	厚層多腐植質黒ボク土	1.7
大 津	厚層腐植質黒ボク土	6.8
都 城	"	5.5
長光池	"	1.8
鯉 淵	表層多腐植質黒ボク土	56.2
米 神	表層腐植質黒ボク土	6.0
大 里	"	1.6
船 川	"	3.2
峯の宿	淡色黒ボク土	1.5
日下部	"	1.5
尾猿内	細粒褐色森林土	2.6
岩 屋	礫質褐色森林土	0.9
その他		9.9
計		100

表 1-2 農耕地の土壌群別分類

土 壤 群	面積 (ha)	比 率
砂丘未熟土	100	1.1
黒ボク土	8,140	88.5
褐色森林土	390	4.2
赤色土	50	0.5
褐色低地土	90	1.0
灰色低地土	400	4.5
その他	20	0.2
計	9,190	100

注) 都内全農耕地面積は平成 10 年度、
土壌群別面積は東京都農業試験場推計

表 1-3 畑地利用と農耕地の土壌群別分布割合

土 壤 群	比 率 (%)
黒ボク土	92.8
褐色森林土	4.4
砂丘未熟土	1.1
褐色低地土	0.6
その他・赤色土, 黄色土, 暗赤色土など	0.2
計	100

注) 平成 10 年度畑地利用面積より推計

表 1-4 農耕地の黒ボク土の種類と分布割合

種類 (土壌統群別)	主な土壌統	比 率 (%) (都内全域)	比 率 (%) (区部 + 三多摩)
厚層多腐植質黒ボク土	久米川, 枕崎統	1.9	2.2
厚層腐植質黒ボク土	大津, 都城, 長光池統	15.2	17.7
表層多腐植質黒ボク土	鯉淵統	60.5	70.5
表層腐植質黒ボク土	米神, 大里, 船川統	12.1	9.4
淡色黒ボク土	大河内, 峯の宿統	10.3	0.2
計		(100)	(100)

注) 平成 10 年度畑地利用面積より推計(区部+三多摩の黒ボク土面積: 約 6900ha)

表 1-5 東京都における土壤保全対策関係事業概要表

事業名	実施期間	事業の背景	事業の内容	主な成果
1) 低位生産地調査事業	昭和22年度から昭和26年度	戦後の食料の確保は国の緊急課題であり、このため農業生産力の飛躍的な増大が要請されていた。	一般調査：既往の調査、統計資料及び現地改善試験等から農業地図を作成した。また全耕地について20~40haに1点の割合で土壌の酸度、聞き取り調査を実施した(昭和22~24年)。 特殊調査：一般調査により明らかになった秋落水田、酸性土壌、不良火山灰土壌、不良土壌について、土壌作物・用水に関して解析的調査、現地改善試験を実施した(昭和25~46年)。 対策調査：低位生産地のうち、秋落水田及び酸性土壌について細密な対策調査を実施した(昭和27~45年)。	東京都の農業図説(1952)を発行。土性図、酸性土壌の分布等が明らかになった。 秋落水田、酸性土壌、不良火山灰土壌などの具体的改良方針が明らかになった。 特に近郊そ菜畑の実態、ハウス土壌の実態、都市汚水の実態が明らかになり、その対策試験も行われた。
2) 施肥改善事業	昭和28年度から昭和36年度	化学肥料の消費が伸びる一方、病害虫、倒伏などの増加、また連用による土壌の異変がみられ、施肥の合理化を図るための基準を設定する必要が生じた。	土壌調査、かんがい、水質調査に基づく土壌区分を実施するほか、農家の施肥の実態調査、適正な施肥量、施肥量を決定するための施肥標準試験を行った。	土壌と施肥の一般的な関係を見出し、土壌類型別、施肥基準を設定した。水田土壌の区分を行った。東京都農業試験場報告(1957, 1960, 1963)。
3) 地力保全基本調査事業	昭和34年度から昭和53年度	畑作物の生産性の向上は、米の生産性向上に比較して進まず、畑作物の収益性は低位にあった。また、低位生産地調査で、我が国の畑土壌には諸種の生産力阻害要因が広く存在することが問題となっていた。	現地調査：25haに1点の割合で調査地点を選定し、地形、侵蝕、土壌断面、植生等の調査を実施した。 土壌分析調査：現地調査の際採取した土壌について理化学的解析を実施した。 現地試験：1,000haに1カ所の割合で選定した代表的な地点において諸種の条件下における作物栽培試験を行い、当該地域での地力判定や地力保全の対策効果の確認を行なう。	東京都では49年度集計で、10,178haの調査を行い、土壌分類、土壌管理指針、対策基準等を作成した。
4) 開園予定地土壌対策調査事業	昭和38年度から昭和46年度	農業生産の選択的拡大により、果樹園の新規造成が盛んに行われ、開園予定地の土壌調査と土壌改良対策が必要となった。	開園予定地のうち、山林、原野であっておおむね10ha以上集団した地域につき、2.5haに1点の割合で土壌調査、分析を行い、土壌対策処方箋および対策図を作成する。	果樹園開園予定地の土壌調査と土壌改良対策処方箋および対策図等を作成した。
5) 地力保全特殊調査事業	昭和47年度から平成9年度	農業の多様化及び農業を取り巻く環境の悪化に対し、要因解明と具体的改善対策を必要とした。	微量元素、特殊成分の欠乏並びにハウス土壌、開園予定地、老朽果樹園、公害等による環境不良地を対象とし、0.5haに1点の割合で調査、分析を行い、改善対策の現地試験を行なう。	昭和53年度都市廃棄物コンポストに関する調査を実施する。
6) 地力実態調査	昭和50年度から昭和53年度	近年農業事業の変化に伴い、堆きゅう肥の施用等が困難な状況にあり、地力の減退が懸念されており、畑土壌の実態とその変化に関与した要因を解明する必要が生じた。	一般調査：地力保全基本調査において調査した地点につき、過去、現在の地力変化を検討する。 定圃場調査：肥培管理、作付け体系等の営農変化を変えた調査区を設定し、地力の経時変化を把握する。	東京都の代表的土壌である表層多腐植質黒ボク土では、pHが低下し、交換性石灰の減少が認められた。堆肥の施用は化学肥料単用区に比較し、収量も多少良好な傾向にあり、土壌の酸性も減収する傾向がある。
7) 土壌環境基礎調査	昭和54年度から平成9年度	土壌管理や施肥管理が土壌や作物に与える影響について経時的に調査し、地力の動態を把握し、その変化に関与する要因を時間という要因も含めて解析することが必要とされるようになった。	全域を4地域に分け、それぞれ地域とし、年間かけて調査を行なう。5年目は取りまとめる年として、5年で全域を一巡するようになる。 同じ種類の土壌5地点を1組として1つのグループとする。5地点のうち、1地点を重要地点とし、4地点を一般地点とする。 50haに1点程度の割合で地点を選定する。 一定点主な土壌調査及び土壌理化学的解析と実施。 重要地点は土壌調査及び理化学的解析、生物性分析他作物も分析も実施する。	

資料：東京都地力保全基本調査総合成績書より

・長期間の営農活動が黒ボク土畑土壌の理化学性の変動に及ぼす影響

1. 緒言

先に述べたように、東京都内の農耕地土壌の約88%は黒ボク土である。この土壌は有機物含量も多く、保肥力や保水力、通気性、透水性などにすぐれた生産力の高い土壌である（関東ローマ研究グループ、1986）。

都内の農耕地の土壌状態や施肥状況は20～30年前に比べて、大きく変化している。有機物類や土壌改良資材の施用も十分に行われるようになり、土壌の理化学性が向上し、今日では養分過剰やpHの高い圃場もみられるようになった（農水省農産園芸局、1996、1979；東京都農試、1977～1997；東京都労経局、1997）。農作物の安定的な生産を維持するためには、地力や良好な生産環境を維持しなければならないが、生産環境は常に一定に保たれることは少なく、自然要因とともに耕耘、施肥、栽培などの人為的な営農活動によって変動する。営農作業との関連した土壌状態の変遷について数量的に検討した例は少ない。特に営農活動が長期間継続された場合の理化学的な性質の面から追跡した例はほとんど見当たらない。

本研究は、約15年間行われた営農活動と都内農耕地黒ボク土の理化学的な性質の変動を対比させて検討し、持続的な農業生産のための基礎的知見を得ようと試みた。

2. 調査場所および方法

1979年から1993年までの15年間にわたり、1979年から1982年までを1巡目、1984年から1987年までを2巡目と、1989年から1992年までを3巡目として、都内全域の4地点（第1地域が世田谷区、練馬区、清瀬市、東村山市、立川市、八丈町、第2地域が小平市、東大和市、立川市、三鷹市、調布市、三宅島、第3地域が青梅市、瑞穂町、あきる野市、日の出町、大島町、新島町、第4地域が八王子市、日野市、稲城市、町田市、小笠原）に分けて、1年間で1地域ずつとし、4年間で全地点の調査・分析を実施した。農耕地における124～145の調査地点について調査した。このうち黒ボク土は81～125調査

地点であった。

農耕地の土壌管理・施肥実態については、生育や施肥基準に大きな意味を持つ窒素、リン酸、カリ、石灰などの肥料の施用状況ほか、堆肥、石灰資材施用状況、耕耘状況などの聞き取り調査した。それぞれの巡目について、葉菜類（主としてコマツナ、ホウレンソウ、キャベツ）、果菜類（主としてトマト、キウリ、ナス）、根菜類（主としてダイコン、ニンジン）など各種の作物が栽培されている地点を対象に調査を試みた。また、あわせて各地点から土壌を採取して、土壌の標準分析法により分析を行った（土壌養分測定法委員会、1970；土壌標準分析・測定法委員会、1986；土壌物理性測定法委員会、1972）。

上記の土壌分析は、全炭素および全窒素はCNコーダー（柳本製、ヤナコMT-500）によって測定した。pHはH₂O抽出および1N KCl抽出それぞれについて、定法により土壌：抽出液 = 1：2.5で1時間振とう後、pHメーター（DKK製）で測定した。電気伝導度は土壌：純水 = 1：5で1時間振とう後、ECメータ（DKK製）で測定した。陽イオン交換容量はセミマイクロショールンベルガー法（pH7、1N CH₃COONH₄液抽出）およびホルモル法（0.1N水酸化NaOH液滴定）で、同時に交換性石灰や交換性苦土、交換性カリなどの交換性陽イオン類は、原子吸光法（日立製、Z-4000）によって分析した。可給態リン酸はトルオーグリン酸抽出液を比色法（島津製、UV-1100分光光度計）によって測定した。リン酸吸収係数はリン酸アンモニウム法とバナドモリブデン酸法を組み合わせて測定した。また土壌の三相分布は実容積測定法で、有効水分は土柱法と加圧板法を組み合わせた方法で測定した。

3. 結果および考察

(1) 都内農耕地における肥料の施用と土壌管理状況の変動

1) 施肥の実態

窒素の施用量は葉菜類では、1巡目については1ha当たり平均180kg、2巡目では154kg、3巡目では164kgであった（表2-1）。1巡目から3巡目までの間でばらつきもみられたが、1巡目から3巡目までの葉菜類全体の平均施用量も1ha当たり165kgであり、平均でみると多肥ではなかった。また、1巡

目の施用量別の地点数分布をみると、東京都の基準で葉菜類の適正施用量の範囲とされる1 ha 当たり100~200 kgに集中していた(図2-1)。果菜類での窒素施用量は1巡目で1 ha 当たり平均261 kg, 2巡目で294 kg, 3巡目で288 kgであった。1巡目から3巡目までの間でばらつきもみられたが、果菜類全体の平均施用量は1 ha 当たり274 kgであった。東京都の基準で果菜類の適正施用量の範囲とされる量は1 ha 当たり250~300 kg程度であり、この数値と比較しても平均施用量でみる限りほぼ適量であった。根菜類の窒素施用量は1巡目では1 ha 当たり平均138 kg, 2巡目では182 kg, 3巡目では107 kgとばらつきがみられた。1巡目から3巡目までの間の根菜類全体の平均施用量は1 ha 当たり142 kgであった。東京都の基準で根菜類の適正施用量の範囲とされる量は1 ha 当たり150~200 kgであり、この数値と比較した平均施用量はやや低めであった。また、1巡目の施用量別の地点数分布をみると、一部で300 kg以上施用の地点もみられるが、大半の地点は0~150 kgに集中していた(図2-1)。

リン酸の施用量は葉菜類では、1巡目については1 ha 当たり平均206 kgであったが、2巡目では半分近くの117 kg, 3巡目では161 kgであった。1巡目から3巡目までの間でばらつきもみられたが、1巡目から3巡目までの葉菜類全体の平均施用量は1 ha 当たり157 kgであった。東京都の基準で葉菜類の適正施用量の範囲とされる1 ha 当たり150~300 kgと比較すると、平均リン酸施用量はやや低めの値であった(表2-1)。また、1巡目の施用量別の地点数分布をみると、1 ha 当たり50~200 kgに集中していた(図2-2)。果菜類では、1巡目については1 ha 当たり平均339 kg, 2巡目では345 kg, 3巡目では370 kgと上昇していた。1巡目から3巡目までの果菜類全体の平均施用量は1 ha 当たり347 kgであった。東京都の基準で果菜類の適正施用量の範囲とされる量は、1 ha 当たり250~350 kgであり、この数値と比較しても平均施用量はやや多肥であった。根菜類では、1巡目については1 ha 当たり平均159 kg, 2巡目では180 kg, 3巡目では154 kgであった。1巡目から3巡目までの間の根菜類全体の平均リン酸施用量は1 ha 当たり164 kgであった。リン酸の施用量別の地点数分布について野菜類全体でみると、ばらつ

きが大きく、1 ha 当たり100 kg以下と少ない地点や、700 kg以上のきわめて過剰な地点もみられた(図2-2)。

カリの施用量は葉菜類では、1巡目については1 ha 当たり平均154 kgであったが、2巡目では137 kg, 3巡目では154 kgであった。1巡目から3巡目までの葉菜類全体の平均カリ施用量は1 ha 当たり147 kgであった。東京都の基準で葉菜類の適正施用量の範囲とされる1 ha 当たり150~250 kgと比較すると、平均カリ施用量はほぼ適量であった(表2-1)。また、1巡目のカリ施用量別の地点数分布をみると、1 ha 当たり50~200 kgに集中していた(図2-3)。果菜類では、1巡目については1 ha 当たり平均で201 kg, 2巡目では232 kg, 3巡目では227 kg, 1巡目から3巡目までの果菜類全体の平均カリ施用量は1 ha 当たり214 kgであった。東京都準で果菜類の適正施用量の範囲とされる量は、1 ha 当たり150~250 kgであり、この数値と比較しても平均施用量は適量であった。根菜類では、1巡目では1 ha 当たり平均で112 kg, 2巡目では161 kg, 3巡目では98 kgであった。1巡目から3巡目までの間の根菜類全体の平均カリ施用量は1 ha 当たり124 kgであった。カリの施用量については野菜類全体でみると、1 ha 当たり50 kg以下の不足地点や400 kg以上の過剰地点もあったが、半分以上の地点が50~200 kgの範囲に入っていた。

石灰質資材の施用を1年間の間を実施している農家の割合は1巡目と2巡目の比較でみると、調査点数に違いはあるが、62%から68%へとわずかに上昇していた。石灰質資材の年間の施用量は1巡目では最高値が1 ha 当たり6,000 kgで、最低値が600 kgであり、10倍の開きがあった。年間の平均施用量は2,390 kgであった。しかし、年間2回以上施用している地点もあり、1作当たりの平均施用量は1,870 kgであった。3巡目では石灰の年間の施用量は最高値が1巡目と同じ1 ha 当たり6,000 kgで、最低値が400 kgであった。年間の平均施用量は2,090 kgで、1作当たりの平均施用量は1,560 kgであった。3巡目では年間施用量、1作当たり施用量とも1巡目よりも低下していた(表2-2)。また、1巡目の石灰質資材の施用量別地点数分布をみると、葉菜類では1 ha 当たり1,000~1,500 kgにピークがみられ、次い

で 1,500~2,000 kg, 2,000~2,500 kgの施用が多かった(図 2-4)。石灰の施用量については野菜類全体でみると, 1 ha 当たり 500kg 以下の不足地点や 4,000 kg 以上の過剰地点もあったが, 半分以上の地点が東京都の施用基準からみても適正と考えられる 1000~2500 kg の範囲に入っていた。

2) 土壌管理状況の変化

a 堆肥の施用

都内農耕地での堆肥の施用状況としては, 堆肥を全く施さない地点は 1 巡目の 4 年間では 27% を占めていたが, 2 巡目には 17%, 3 巡目には 16% となり, 次第に減少した。堆肥施用地点は微増の傾向で, 最初 73% であったが, 2 巡目 83%, 3 巡目で 84% となった(表 2-3)。また堆肥の施用回数が 1 年間に 2 回以上の地点は, 1 巡目から 3 巡目までの間約 20%, 19%, 15% で推移した。

都内全体では牛ふんの施用が多く, ついで豚ふんや鶏ふん, 植物堆肥などであり, 1 回の堆肥施用量は全体の平均では, 1 ha あたり約 20 t を維持していた(表 2-4)。牛ふんの施用量は平均で約 4 t であったが, 3 巡目は 1 巡目より少なくなっていた。鶏ふんの施用量は調査ごとに少なくなっており, 3 巡目では平均約 5 t ほどで, 1 巡目の約半分であった。

b 耕耘状況

農耕機の馬力と耕耘回数の変化は, 1 巡目では 15 PS 未満の機械を使う地点が多かったが, 3 巡目では 15~24 PS のものが多くなり, 大型化していた(図 2-5)。耕耘回数も 1 巡目では年間 2 回が多く, 3 巡目では 3 回行なうところが最も多くなった(図 2-6)。5 回以上行なう地点も多くなり, 耕耘回数は増加傾向にあった。

(2) 15 年間にわたる都内黒ボク畑土壌の理化学性の変動

1) 土壌の理化学的性質

土壌の理化学性については, 表 2-5, 図 2-7~図 2-11 に示した。作土の深さや硬度については, 図 2-12, 図 2-13 に示した。

土壌中の養分状態に関しては, 3 巡目の都内 81 地点の可給態リン酸含量地点数分布は, 不足域と過剰域に 2 つのピークがみられた。乾土 1 kg 当たり 2 g を越す地点もみられた。適正域には顕著なピークは認められなかった(図 2-7)。

交換性カリは都内土壌でほぼ適正域となり, 1 kg 当たり 0.4~0.7 g の間に 1 つのピークがみられた。過剰域では 1.0~1.2 g にもう 1 つのピークがみられ, 2 g に近い地点もあった。不足域の地点は比較的少なく, 特に 0.1 g 以下の地点はみられなかった(図 2-8)。

交換性石灰の適正域は陽イオン交換容量の大きさに変わるが, 都内土壌でのほぼ良好と考えられる交換性石灰含量値は 4~5 g / kg である。交換性石灰が 2 g 以下では一般的に不足であり pH も低下し, 8 g 以上では過剰といえる。過剰である 10 g を越す地点も多数あった(図 2-9)。

都内土壌での交換性苦土は, ほぼ適正域である 0.5~0.7 g / kg の中にピークがみられた。しかし, 不足域の 0.2 g 以下の地点, さらに 1.5 g 以上の過剰な地点もあった(図 2-10)。

1 巡目から 3 巡目の土壌中可給態リン酸含量の変化については, 上昇傾向がみられた(図 2-5)。

作土の深さは調査ごとに浅くなり, 作土の表層硬度も柔らかくなっていた(表 2-5)。また三相分布は 1 巡目から 2 巡目の間で固相, 液相が低下し, 気相が増加していた。2 巡目から 3 巡目では, 大きな変化はなかった(表 2-5)。

pH や全炭素などに大きな変化はなかった。交換性陽イオン類や可給態リン酸はやや増加の傾向にあったが, 全体的にはほぼ適切な数値であった。陽イオン交換容量は 2 巡目で一時的に減少していたが, 再び上昇していた(表 2-5)。

都内農耕地における肥料の施用と土壌中の成分含量の変動についてみると, 葉菜類での平均窒素施用量(164 kg/ha)は多肥ではなかったが, 全体的には施用量にばらつきもあり, 葉菜類と根菜類で陽イオン交換容量などを考慮しても過剰施用と思われる地点があった。果菜類の平均窒素施用量が約 274 kg / ha でやや高く, 今後施肥量についての考慮も必要である。リン酸施用量は野菜類全体では施用量の少ない(100 kg 以下)地点や過剰施用(700 kg 以上)の地点もあった。すでに土壌中に乾土 1 kg 当たり 1 g 以上の可給態リン酸を含む場合は, 100 kg / ha 以下の施用が望ましく, また土壌中に 0.1 g 以下と不足地点では 700~800 kg / ha の施用も必要である。今日減肥がいられているが, 施肥量が少ないため,

土壌中の含有率が少ない場合には、増肥の必要性もあると考えられた。また果菜類の平均施用量は葉菜、根菜類より多肥傾向であった。カリ施用量は施用量にばらつきもみられたが、全体の平均施用量(約160 kg弱)で多い量ではなかった。しかし土壌中の含量をみると過剰地点もあり、給源が化学肥料以外の堆肥などに由来していることが考えられた。石灰施用量は全体的にばらつきがあった。これは土壌中の状態に合わせて施用しているケースが多いためと考えられた。しかし一度に施用するにはやや多い(4 t以上)地点もみられた。葉菜類では1~1.5 tに集中していた。石灰の施用に関しては、一度に多量施用するのは好ましくないと思われるので、2~3 t以上必要な場合でも2回以上に分けることが望ましいと考えられた。

土壌中の可給態リン酸の適正値は、一般的な野菜類では、土壌中に200~700 mg/kg前後と考えられるが、調査地点の分布をみると、この範囲からはずれた不足域と過剰域がみられた。もともと都内の土壌中には可給態リン酸はほとんど含まれず、流亡しにくいので、これらの違いは施肥量の差異によると考えられた。交換性カリは都内土壌でほぼ適正域にあると考えられるが、カリ施肥量と土壌中の含量を考えた場合、今後は堆肥の成分も考慮する必要がある。さらに、交換性石灰の適正域は陽イオン交換容量の大きさに変わるが、一般的に都内のほぼ良好な交換性石灰(4~5 g/kg)であった。交換性苦土はほぼ適正域の中にピークがみられたが、一部で不足地点や極めて過剰な地点もあった。これは石灰質肥料施用するとき、苦土入りの種類を連用するかどうかの影響していたと考えられる。

15年間における都内黒ボク畑土壌の理化学性の変動について施肥などから考えると、果菜類の一部で堆肥類、石灰類、化学肥料の多施用地点もあったが、全体的に過剰施用は少なくなった。特に葉菜類では、施用量が適正化しており、極端な肥料分の集積はみられなかった。堆肥施用と耕耘などの土壌管理は土壌の理化学性や作物収量に大きく影響することが報告されているが(加藤ら, 2000a)、今後も土壌環境の面から収量を下げない程度に化学肥料の施用量をより減少させ、土壌に対する負荷を小さくしていく必要があると判断される。特に、可給態リ

ン酸に関しては、リン酸の施用量は減少傾向にあるのに(表2-1)、土壌中の可給態リン酸が増加しているのは(図2-11)、黒ボク土が持つリン酸固定力の強さを超えて、可給態リン酸がたまり始めると急速に増加しやすくなることを示している。

作土の深さや硬度などの物理性については、1巡目から3巡目までの間に大きく変化していた。耕盤深度が浅くなるほど作物収量減などの影響がでてくるが(加藤・米田, 2000b)、土壌自体にも大きな変化が出てくる。作土の深さが1 cm浅くなって、その部分の硬度が高くなり、固相が増すと固相率が1%上昇ごとに、1 haあたり15 cmの作土でおよそ15 tの保水機能が失われるか、あるいは土壌空気が減少することになる。通常は耕盤が形成される場合には、固相は3~5%以上あがり、その分孔隙が小さくなる。また表層土壌が膨軟化しているが、これも過度になると、土壌の乾燥化が進んだり、団粒構造の破壊による紛状化を招いたりする恐れもある。作土の深さは1975年ころから導入されたトレンチャーによる深耕とその後の農業機械の大型化により、次層硬度もやや膨軟化に関係していると判断される。深耕で一度深くまで耕耘し、その後大型機械で表層を耕耘するため、次層がやわらかくなった。機械の大型化は作業性の高速化をもたらすが、必ずしも深耕は意味せず表面だけを耕耘するようになった。また最近ではトレンチャーなどによる深耕はあまり行われなくなった。このため耕耘の深さは平均深度がやや浅く一定化してきたが、軟らかい表層作土ができてきた。化学性は土壌診断なども十分に行われており、15年間で極端な変化もなく、大きな問題はみられなかった。今後は土壌診断などを定期的実施し、塩基類やリン酸などの集積に留意が求められる。

また今日環境保全型農業推進のもとに環境に負荷を与えないという観点から施肥量を現行よりも10%あるいは20%ほど削減しようとする動きがある。しかし土壌中の各種成分含量のばらつきの平均的な施用量だけを取り上げて一律何%削減ということでは問題解決しない面があり、土壌中の含有量で変えていく必要がある。さらに過剰な地点では20~30%の減肥ではなく、時には一定期間無施用も必要となる。また適正な地点では今後土壌診断を重ねながら土壌の種類ごとに減肥できるか検討していく必要が

ある。

黒ボク土畑の調査でこれまで1層目の特性については、比較的良好なものとして述べてきたが、これらの地点のうち下層土まで断面調査および理化学性分析を実施した地点について、層位が比較的似ている腐植層の厚い11地点を選定し、下層土の理化学性の調査を行った(表2-6)。

物理性については、下層になるほど硬度が増し、硬く緻密になっていた。三相分布のうち、固相と気相は下層ほど小さく、液相は下層ほど大きくなっていった。しかし、50~60cm以下の4層目でも24%程度の空気を含んでおり、下層まで通気の良い土壤であることが分かった。有効水分も2層目で14.5%、3層目で15.4%、4層目で12.0%と高く、植物にとって利用しやすい水分を含んだ土壤であることが認められた。

化学性については、埋没腐植層を含む腐植層の厚い土層でもあり、下層土まで全炭素や全窒素、交換性石灰、交換性苦土、交換性カリが比較的十分含まれていた。電気伝導度も4層目で0.11dS/mと1層目の適正值より低く適度な数値を示していた。全窒素は少なくないが、電気伝導度を高める効果の高い硝酸態窒素はそれほど多くないと考えられた。可給態リン酸は土壌に施用されても移動しにくく、耕耘などによって下層まで運ばれるが、2層目では0.17g/kgとある程度含まれていた。この層までは耕耘や施肥

などの人為的な力が入っていたことがうかがえた。

しかし、3~4層目では植物が十分に生育できないほど可給態リン酸が少なく、人為的な影響がほとんど加わっていないと推察された。東京都下の農耕地土壌の主体が、黒ボク土というリン酸吸収係数の大きい火山灰土壌であるため、リン酸固定が強く下層土の可給態リン酸含量を小さくしており、リン酸の溶脱による地下水汚染などの懸念はないものと推察される。

以上から考えると、腐植質の黒ボク土では下層土まで塩基分が含まれているため、地力は十分にある良好な土壌であるが、反面肥料分を多量に施用した場合は蓄積する可能性もあると考えられる。また、天地返しなどにより表層にたまった肥料分を薄めることもし難い面を持つ。そのため、将来にわたって蓄積を招かないようにするには、環境への負荷も考慮しつつ、施肥基準等を見直し減肥をはかっていくことが不可欠となる。しかし、ただ減肥をただけでは十分な農業生産を得ることができなくなる。その対策として、栽培期間の短いコマツナなどでは1回施肥2作採りを取り入れたり、果菜類など長期栽培作物では、リアルタイム土壌診断で施肥管理を行ったりすることが必要となる。そのほか、もっとも適切な施肥位置や施肥時期を見つけだすような施肥方法の検討、あるいは、緩効性肥料の利用も有効な手段になると考えられる。

表2-1 普通畑における化学肥料の平均施用量(成分量 kg/ha・1作)

作物種類	1巡目(1979~1982年)				2巡目(1984~1987年)				3巡目(1989~1992年)				1~3巡目平均			
	点数 ^z	窒素	リン酸	カリ	点数	窒素	リン酸	カリ	点数	窒素	リン酸	カリ	点数	窒素	リン酸	カリ
葉茎類	61	180	206	154	82	154	117	137	66	164	161	154	209	165	157	147
果菜類	36	261	339	201	15	294	345	232	14	288	370	227	65	274	347	214
根菜類	18	138	159	112	21	182	180	161	22	107	154	98	61	142	164	124
イモ、他	31	141	165	151	28	144	165	229	22	86	131	177	81	127	156	185
計(平均)	146	187	224	160	146	170	159	168	124	154	178	156	416	171	187	162

^z 栽培された作物数を示す。したがって地点数とは一致しない。

表 2-2 普通畑の石灰類施用農家の割合と施用量

巡目 ^z	調査数	使用 農家数	石灰施用 農家割合	(施用量/ha)				
				施用量 (kg/年間)			kg/1 作毎	
				最高	最低	平均	使用点数	平均量
1 巡目	125	77	62	600	60	239	98	187
3 巡目	81	55	68	600	40	209	74	156
3/1 巡目	-	-	-	-	-	0.9	-	0.8

使用点数とは、石灰を施用した農家の全施用回数(1農家で2回以上の施用もあるため、使用農家数とは合致しない)を示す。

z: 1 巡目は 1979~82 年, 2 巡目は 1984~87 年, 3 巡目は 1989~92 年。

表 2-3 普通畑での堆肥施用回数の割合

回数	(回数/年間)					
	1 巡目 (1979~1982)		2 巡目 (1984~1987)		3 巡目 (1989~1992)	
0	34 (27%)		14 (17%)		13 (16%)	
1	66 (53%)		50 (60%)		53 (65%)	
2	21 (17%)	(73%)	17 (20%)	(83%)	13 (16%)	(84%)
3	4 (3%)		2 (2%)		2 (2%)	
計	125 (100%)		83 (100%)		81 (100%)	

1 年間の時期を変えて堆肥を施用した回数の地点数の割合を示す。

1 回に 2 種類以上の堆肥を混ぜて施用した場合も 1 回とする。

表 2-4 普通畑での年間平均堆肥施用量

種 類	(t/ha・年間)								
	1 巡目 (1979~1982)			2 巡目 (1984~1987)			3 巡目 (1989~1992)		
	点数	最高-最低	施用量	点数	最高-最低	施用量	点数	最高-最低	施用量
牛ふん	28	16.0~0.5	4.8	22	15.0~0.4	3.8	28	20.0~0.1	4.0
豚ふん	27	6.0~0.4	2.1	16	20.0~0.4	3.0	13	6.0~0.2	1.4
鶏ふん	25	3.5~0.04	1.0	26	1.5~0.1	0.7	14	1.0~0.1	0.5
他動物糞	6	4.0~1.0	1.8	6	4.0~1.0	1.6	1		7.0
堆肥(植物)	23	3.0~0.08	1.0	17	4.5~0.3	1.5	23	3.0~0.1	1.2
青刈り作物	5	6.0~0.4	3.1	3	7.0~0.6	3.7	4	4.0~0.7	1.9
汚 泥	5	4.0~0.4	2.1	4	6.0~0.08	1.7	2	4.0~0.7	2.4
計(平均)	119	-	2.3	94	-	2.2	85	-	2.1

点数は 1 年間の堆肥の施用点数(調査点数とは異なる)。調査は 4 年間にわたって実施した。

1 農家が 1 回に 2 種類以上の堆肥を混ぜて施用した場合は、それぞれもとの種類に分けて表示してあるために、表 2-3 の施用回数とは一致しない。最高-最低は使用量の範囲を示す。

表 2-5 都内黒ボク土普通畑の理化学性の変化（1層目）

年度 ^z	作土深 (cm)	表層 硬度 (mm)	次層 硬度 (mm)	仮比重 (g/ml)	三相分布 (%)			pH		電気 伝導度 (dS/m)	全炭素 (g/kg)
					固相	液相	気相	H ₂ O	KCl		
1 巡目	21.9	9.6	15.3	0.66	25.8	37.6	36.4	6.0	5.1	0.27	63.2
2 巡目	20.1	7.9	14.4	0.61	23.2	35.0	41.7	6.0	5.2	0.26	63.7
3 巡目	19.9	6.4	14.6	0.62	23.8	34.8	41.1	6.1	5.4	0.23	63.9

年度 ^z	全窒素 (g/kg)	C / N	陽イオン 交換容量 (cmol (+)/kg)	交換性塩基 (g/kg)			石灰 飽和度 (%)	塩基 飽和度 (%)	リン酸 吸収 係数	可給態 窒素 (g/kg)	可給態 リン酸 (mg/kg)
				CaO	MgO	K ₂ O					
1 巡目	4.5	14.3	39.3	445	62	60	39.1	49.6	2107	71	0.345
2 巡目	4.6	13.8	35.7	572	68	79	55.6	70.0	2017	31	0.466
3 巡目	5.0	13.1	40.4	539	71	74	46.0	57.4	2096	49	0.531

z：1 巡目：1979～82 年，2 巡目：1984～87 年，3 巡目：1989～92 年。

表 2-6 下層土の理化学性（3 巡目）

層位 ^z	調査 点数	電気伝導度 (dS/m)	全炭素 (g/kg)	全窒素 (g/kg)	交換性 石灰 (g/kg)	交換性 苦土 (g/kg)	交換性 カリ (g/kg)	可給態 リン酸 (g/kg)
2	11	0.14	67.6	5.16	4.18	0.48	0.41	0.17
3	11	0.16	62.8	4.55	4.25	0.54	0.45	0.05
4	4	0.11	66.1	4.55	6.22	0.56	0.26	0.004

層位 ^z	硬度 (mm)	仮比重 (g/ml)	三相分布 (%)			孔隙率 (%)	真比重	有効 水分 (%)	pF1.5 の 空気率 (%)
			固層	液層	気相				
2	13.3	0.63	23.7	43.3	33.0	76.3	2.68	14.5	20.7
3	16.4	0.51	18.6	49.8	31.6	81.4	2.77	15.4	20.9
4	20.3	0.51	18.7	57.3	24.1	81.3	2.73	12.0	16.0

黒ボク土のうち、下層土の調査を行った。比較的腐植層の厚い地点から採取した。

z 2：調査点数の平均 19～34cm の深さ，3：調査点数の平均 37～58cm の深さ，

4：調査点数の平均 63～96cm の深さ。

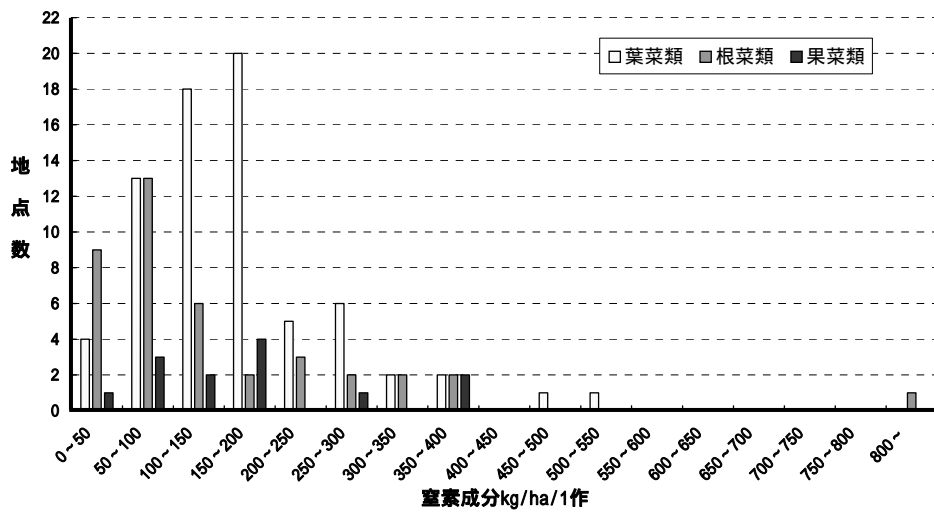


図2-1 野菜の種類別に示した ha 当たりの窒素施用量 (1979~1982年調査)

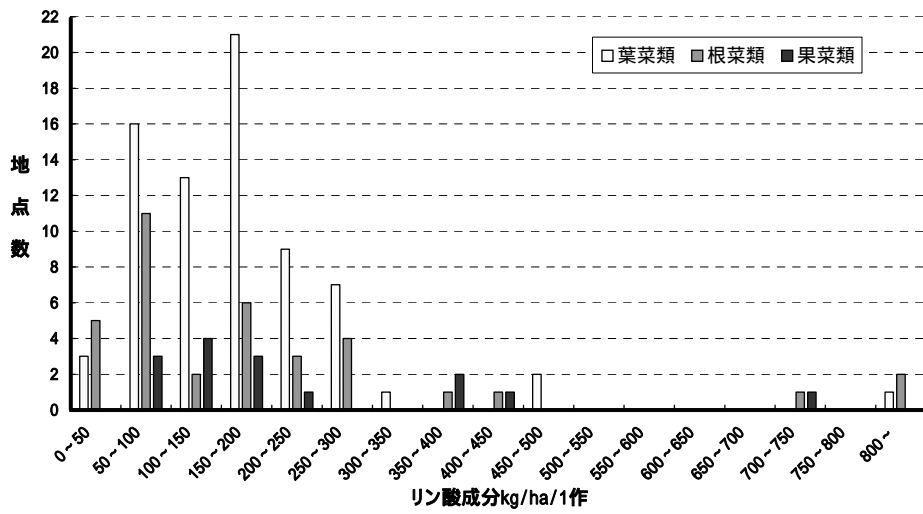


図2-2 野菜の種類別に示した ha 当たりのリン酸施用量 (1979~1982年調査)

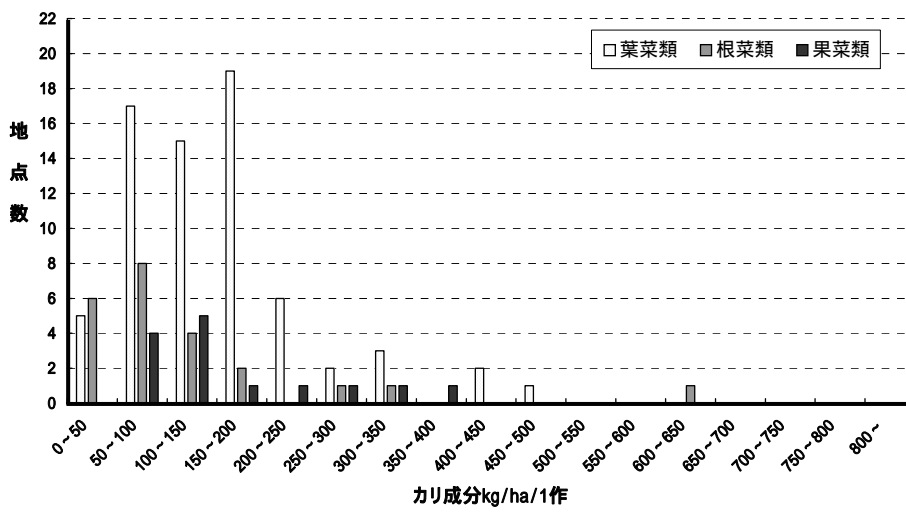


図 2-3 野菜の種類別に示した ha 当たりのカリ施用量 (1979~1982 年調査)

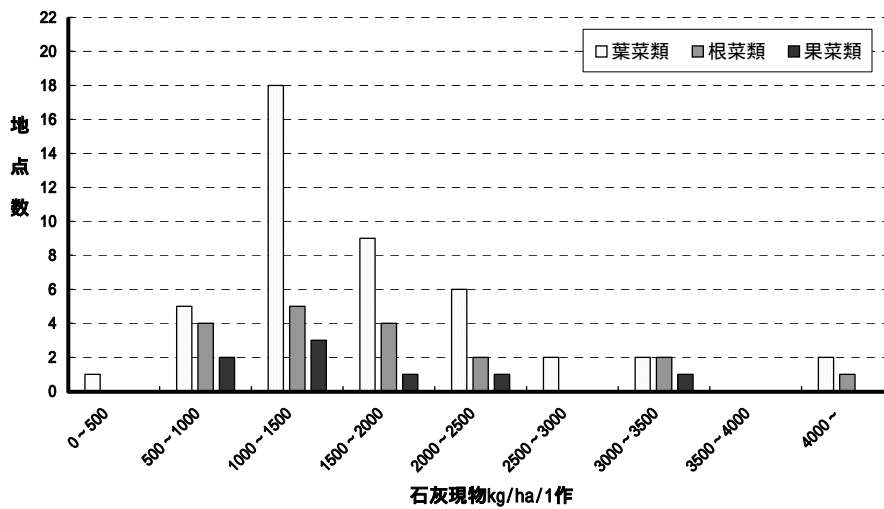


図 2-4 野菜の種類別に示した ha 当たりの石灰質資材施用量 (1979~1982 年調査)

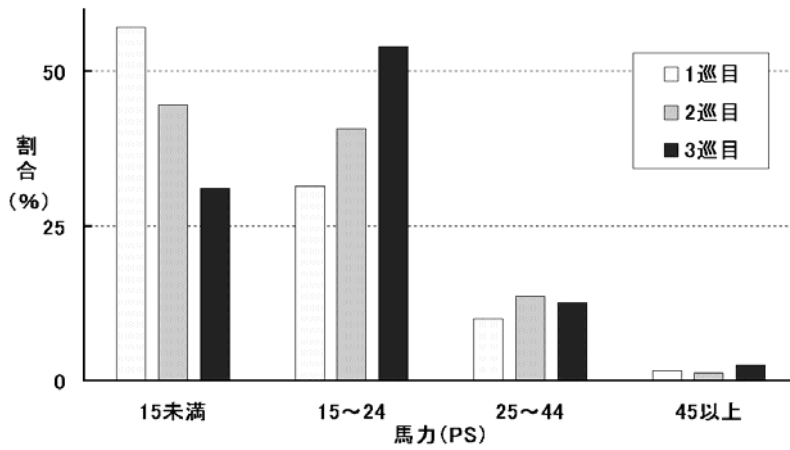


図 2-5 各巡目ごとの馬力別農耕機の使用割合

注) 1 巡目 : 1979 ~ 82 年 , 2 巡目 : 1984 ~ 87 年 , 3 巡目 : 1989 ~ 92 年。

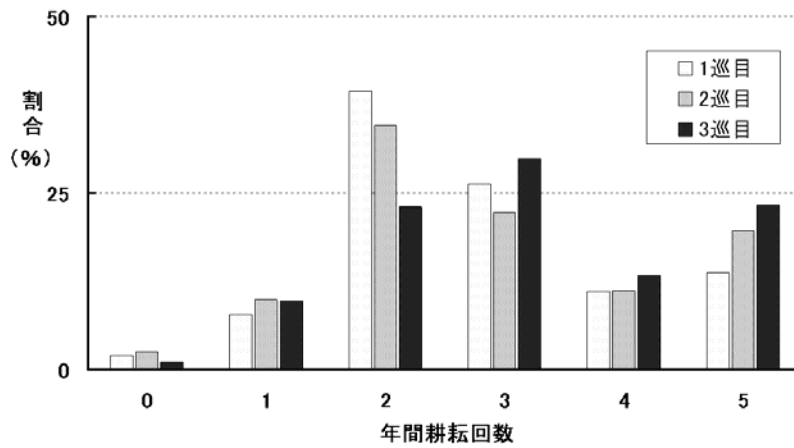


図 2-6 各巡目ごとの年間耕耘回数の割合

注) 1 巡目 : 1979 ~ 82 年 , 2 巡目 : 1984 ~ 87 年 , 3 巡目 : 1989 ~ 92 年。

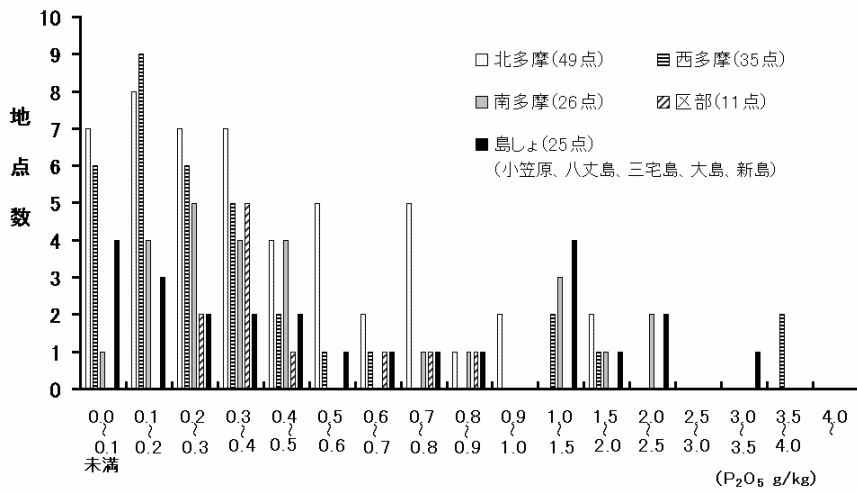


図 2-7 地域別に示した農地の可給態リン酸含有量 (1979~1982 年調査)

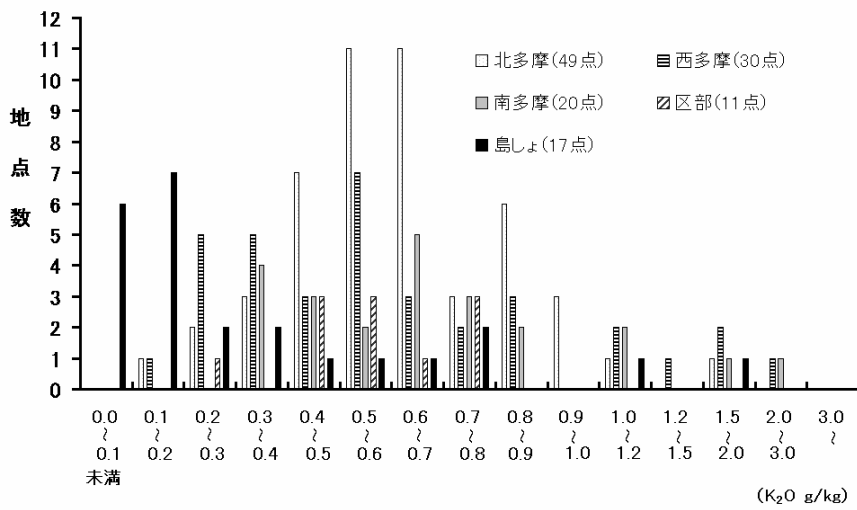


図 2-8 地域別に示した農地の交換性カリ含有量 (1979~1982 年調査)

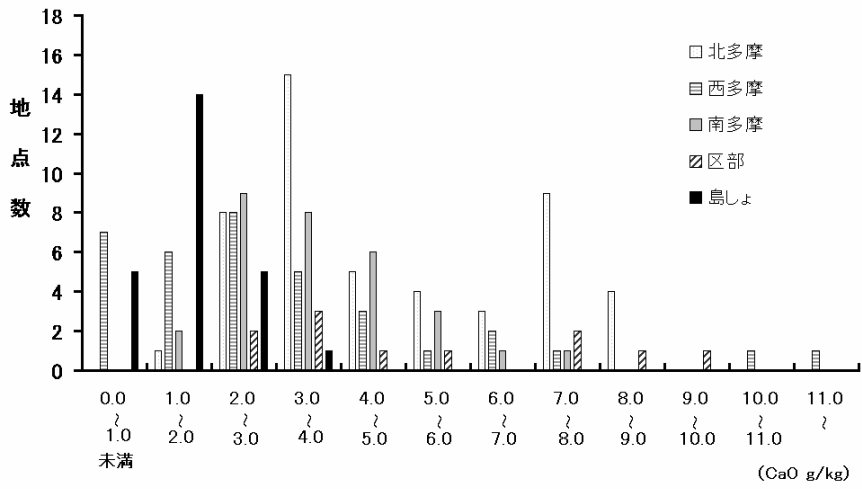


図 2-9 地域別に示した農地の交換性石灰含有量 (1979~1982年調査)

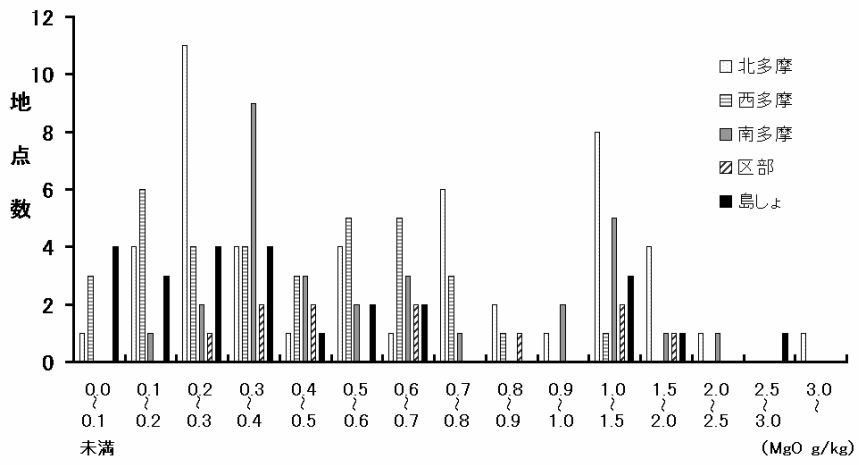


図 2-10 地域別に示した農地の交換性苦土含有量 (1979~1982年調査)

・堆肥の長期連用が黒ボク土の理化学性と作物収量に及ぼす影響

1. 緒言

東京都内の農耕地土壌の約 88%は黒ボク土である(東京都農試, 1977~1997)。この土壌は、土層が厚く、堆肥含量も多く、保肥力や保水力、通気性、透水性などにすぐれており、生産力が高い(東京都農試, 1978, 1979~1997)。しかしこの土壌の物理性は常に一定ではない。それは自然要因以外、耕耘、施肥や改良資材施用などの人為的な力による変化が考えられる。農作物の安定的な生産のためには、地力や生産環境を一定に維持し、将来にわたって土壌を良好な状態に保つことが求められる。それには、現在の土壌の理化学性を把握するだけでなく、時間の経過にしたがって、土壌に生ずる変化を把握することが必要である(加藤・米田, 2000; 加藤ら, 2000; 加藤・米田, 2001a, 2001b)。しかしながら、これまで都内の土壌に生ずる長期間の変化について報告されたものは少なく(東京都労経局, 1997)、長期展望にたった営農指導の資料が不足していた。

東京都内の畑土壌は、かつては pH も低く、肥料成分不足の地点が多かった。現在では、化学肥料などの利用により適量の地点が増えてきた。さらには過剰な地点も出てきた。このため、施肥量や土壌の養分状態を常時把握することが、農業生産上より重要になってきた。これらの実態を知ることにより、東京都内における今後の土壌管理や施肥対策に役立つなどの基礎資料が得られる。

また大都市近郊農耕地の土壌保全の立場からも、施肥量の少ない地点では、土壌中の三要素含量も少ない場合が多いので、増肥も必要であるなど。土壌中の含有量で変えていく必要がある。ことにカリ施肥量と土壌中の含量を考えた場合、今後は堆肥の成分も考慮する必要がある。

そこで東京都立川市の台地にある黒ボク土畑において、長年にわたって堆肥を施用し、園芸作物の生育・収量や土壌の理化学性などについて調査した。

2. 材料および方法

東京都立川市立川面台地上の表層腐植質黒ボク土(米神統)からなる実験圃場に、無窒素区(リ

ン酸、カリのみ施用、肥料として窒素分は無施用)、化学肥料単用区(三要素施用)、堆肥施用区(三要素+堆肥施用)、総合改善区(三要素+堆肥+熔リン施用)の4区(0.5a/区の2連)を設け、1976年から1996年まで栽培試験を行った。無窒素区はリン酸、カリを170:130成分kg/haを施用した。三要素として、窒素(硫安)、リン酸(過石)、カリ(硫加)を240:170:130成分kg/haで施用した。堆肥は牛ふんパーク堆肥30t/ha/年(水分50%換算での量)を用いた。なお熔リンは1・2作に10t/haづつ施用し、石灰質資材は各区同量、春作前に1000~2000kg/haの範囲で適宜・適量施用した。

供試作物はキャベツとダイコンとした。春作としてキャベツ YR 錦秋 を毎年5月上旬定植して、毎年7月中下旬収穫し、秋作にはダイコン 都大根を毎年9月上旬播種し、12月中下旬に収穫した。キャベツ、ダイコンとも栽植密度は28,000株/haとし、畝幅は70cm、株間は50cmとした。

調査は作物体収量や作物体水分などのほか、土壌三相分布や保水性などの物理性、土壌や堆肥の全炭素や全窒素、塩基類などの化学性について行った。土壌の三相分布、保水性については圃場の表層部(5~10cm)から採土管を用いて、3連で試料を採取し、分析に供試した。化学性については、毎年、作物の収穫直後に各区から作土に相当する0~20cmの間の深さから採取し、分析用とした。圃場から採取した生土は、常温の日陰で1ヶ月間以上風乾した後、粗大堆肥や礫、ビニール片などを取り除いたあと、乳鉢で粉碎後2mmの篩を通したものを供試した。全炭素や全窒素分析用については、さらに微粉碎して分析に供した。

土壌の各分析値は、2連で行った試験区の結果を平均値として示した。堆肥についてもすべて2連で分析を行った。堆肥の分析結果は表3-1に示した。また分析方法については後述する。

また土壌の化学性の測定には、毎年キャベツおよびダイコンの収穫直後に各区から作土に相当する0~20cmの間から採取し、土壌養分の分析用とした。圃場から採取した生土は、常温の日陰で約1ヶ月以上風乾後、粗大有機物や礫、ビニール片などのゴミを取り除いたあと、乳鉢で粉碎後2mmの篩を通したものを供試した。CN分析およびリン酸については、

さらに微粉碎して分析に供した。土壌の分析は、すべて2連で行い平均化した。両者に5%以上の差が生じた場合は、再度2連で分析を行った。また土壌の全炭素、全窒素、pH、電気伝導度、陽イオン交換容量、交換性陽イオン(石灰、苦土、カリ)、可給態リン酸の測定は前実験(長期間の営農活動が黒ボク土の理化学性の変動に及ぼす影響)と同様の方法で行った。

堆肥の成分測定には、試料採取後常温の日陰で約1ヶ月以上風乾後、粗大有機物や礫、ビニール片などのゴミを取り除いたあと、粉碎機で微粉碎して分析に供した。供試した堆肥の分析はすべて2連で行い平均化した。両者に5%以上の差が生じた場合は、再度2連で分析を行った。堆肥の全炭素(T-C)および全窒素(T-N)はCNコーダーによって測定した。陽イオン〔全カルシウム(T-Ca)、全マグネシウム(T-Mg)、全カリウム(T-K)〕および全リン(T-P)は硝酸・過塩素酸分解した液を用いた。その後、陽イオンは分解液の一部を原子吸光法によって分析した。全リンは同じく分解液の一部を比色法によって測定した。

一方、土壌の物理性の測定は以下の通りである。三相分布は圃場の表層部(5~10cm)から採土管を用いて3連で試料を採取し、実験室内で実容積測定法によって測定した(土壌物理性測定法委員会, 1972a)。有効水分含量は三相分布を測定した同じ試料を採土管のまま用いて土柱法と加圧板法を組み合わせた方法で、さらに圃場におけるpF 1.5の気相率は土柱法と実容積測定法を組み合わせた方法で測定した。pF 4.2の体積含水率は遠心法(土壌物理性測定法委員会, 1972b)によった。また、最終年には土壌硬度を貫入式硬度計(大起製)によって連続測定した。

3. 結果および考察

(1) 収量に及ぼす影響

1) キャベツ

a. 結球

キャベツの収量は、その年の気象条件に大きく影響を受けて変動した(図3-1)。化学肥料単用区だけをみても、21年間の最高収量と最低収量は約2倍の差があった。堆肥施用の効果は1作目ではほと

んどなかったが、2作目以降からみられるようになり、10数%から30数%の増収としてあらわれた。しかし堆肥を長年にわたって施用し続けても、堆肥施用区と化学肥料単用区との収量が大きく違うことはなかった。1979年、1985年、1989年、1991年はいわゆる異常気象の年で、乾燥が続いたり、降雨が続いたり、低温の年であったが、1989年を除いて、収量は全体的に低かった。これらの年は、堆肥施用区と化学肥料単用区との差は比較的小さく、逆に気象条件に恵まれて全体に収量の高い年ほど堆肥施用の効果は認められた。また1993年は低温冷夏の年であったが、キャベツにとっては必ずしも悪条件とはならず、平年以上の収量であった。黒ボク土はリン酸固定力が大きく、可給態リン酸が不足しやすいため、黒ボク土の総合的な改善として、堆肥にリン酸の素材として熔リンを施用した。しかしこのリン酸の影響は結球部収量ではほとんどみられず、一定量のリン酸があれば、それ以上に必要のないことが認められた。

無窒素区では、1作目は小さいながらもある程度結球したが、2作目以降はほとんど結球しなかった。リン酸とカリについては、化学肥料単用区と同量施肥したが、窒素肥料を施用しないと、キャベツの生育は致命的なダメージを受けていた。

b. 外葉

キャベツの外葉も結球と同様であった(図3-1)。外葉の収量が少ない年は結球収量も少なかった。また堆肥の施用効果は化学肥料単用区と比較して10数%~20数%程度増収した。リン酸施用の影響を堆肥施用と総合改善区(リン酸施用)と比較しても外葉の収量に顕著な差はなかった。一定量の可給態リン酸があれば、それ以上は収量に影響を与えないことが認められた。無窒素区の外葉は、結球に比べてかなり大きなものであった。正常に生育している区では外葉より結球がどの区も例外なく重かったが、無窒素区では1作目以外、外葉の方が重かった。

2) ダイコン

a. 根部

ダイコンの根部の収量は、その年の気象条件などに大きく影響を受け、変動していた(図3-2)。化学肥料単用区だけをみても、21年間の最高値と最低値

とでは約3倍ほどの開きがあった。このような変動は各区とも同様で堆肥の施用によって、特に緩和されるということもなかった。堆肥の施用効果を収穫量からみると、1作目では施用したばかりであり、ほとんどなかった。2作目以降から効果がみられるようになり、化学肥料単用区と比較してみても数%~20数%増収した。すべての年で堆肥施用区が化学肥料単用区よりまさっており、堆肥の質も特に問題なく、堆肥施用の害が出ることはなかった。しかし堆肥を施用し続けても化学肥料単用区との差は開き続けることはなく、一定範囲の差を保ちながら推移していた。

いわゆる異常気象の年は、全体に収量が低下していたが、特に1979年、1988年、1992年の低下が著しかった。これらの傾向は春作キャベツと似たような動きと傾向を示していた。しかし異常気象年といっても、1年中異常状態が続いていたわけでもないので、春作キャベツと秋作のダイコンとも同様に低下していない場合もみられた。また1992年は必ずしも異常気象とはいえなかったが、病害虫の発生が多く、著しく収量が低下していた。収量の低下した年は、化学肥料単用区と堆肥施用区の差は、一部を除いて比較的小さかった。さらに病害虫の発生した場合も堆肥施用の有無は、収量に顕著な差をもたらさないことが認められた。

リン酸施用の効果を堆肥施用区と総合改善区の間でみると、リン酸施用により増収している年もあったが、大半の年は顕著な差はなかった。これは一定以上のリン酸分があれば、黒ボク土でもそれ以上施用しても増収することはないと考えられた。無窒素区では、1作目は他の区と同じような収量であった。しかし2作目以降は他の区の収量が増加し、顕著な差がでてきたが、小さいながらもダイコンの形をしており、どの年も食用に供することは可能であった。

b. 葉部

ダイコンの葉部も年度によってばらつきがみられ、根部と似たような傾向を示していた(第3-2図)。しかし1979年では、根部収量が大きいのに、葉の収量は低下しておらず、1984年では逆に根部の収量は平年並みであったのに対し、葉部収量は非常に低下していた。1979年は、気象条件が悪く、葉部ができ

ただけで根部の生産が十分でなかったが、1984年は収穫直前まで、生育は順調であったものが、病害虫が急激に発生したため、地上部だけがダメージを受けて減収となった。しかしこのときも無窒素区では、特に極端に病害虫のダメージを受けることは少なかった。1992年も病害虫が発生した。この発生は生育の初期からの発生していたために、地上部の葉部と地下部の根部とも収量に影響がみられた。

ダイコン葉部に対する堆肥の効果をみると、根部と同様の傾向にあった。化学肥料単用区と堆肥施用区の差は、数%~20数%の間ですべての年で、堆肥施用がまさっていた。リン酸の効果は葉部でも顕著ではなかった。無窒素区では、収量は2作目以降に急激に低下し、その後気象条件などにもあまり影響されず、大きな変化がなく、低い値を維持していた。そのため気象条件がよく、他の区の生育がよい年は、大きな差があり、天候不順で他の区の生育が悪くなると、その差は小さくなった。地下部に対する地上部の割合(T/R)は、良好な生育時ほど効率がよく、少量の葉で根部を肥大させることができ、条件が悪くなって、生育のよくない時は、葉に対する根の割合は小さくなり、効率が悪くなっていた。

(2) 土壌中の理化学性に及ぼす影響

1) 三相分布

三相分布は、10年間経過後からはほぼ同じような傾向であったため、一部のデータだけを示した(図3-3)。18年間を経過した一般的な圃場の状態では堆肥の施用により、気相が増加し、液相と固相が低下し、土壌の膨軟化が起こっていることが認められた。総合改善区と堆肥施用区の間で大きな差はなかったため、熔リンの施用は大きな影響を与えていなかったと考えられた。化学肥料単用区と無窒素区は、他の2区と比べ、気相がやや小さく、液相と固相が大きくなっており、土壌が硬くなりやすいことを示していた。無窒素区は化学肥料単用区よりもわずかに固相が大きい傾向にあったが、無窒素区は作物の生育が悪く、根の発達もしにくいいため、土壌がより締まりやすいと推察された。

2) pF

保水力(水分曲線)も、10年間経過後からはほぼ同じような傾向になったため、一部のデータだけを示した(図3-4)。18年間を経過した一般的な圃場の

状態では堆肥を施用した2区は、施用しない2区よりも低い水分含量を示した。これは三相分布の液相の状態と一致し、水分含量が減少すると気相を増加させる可能性は高くなると考えられた。また水分含量自体は減少していたが、各pFについて全体的に水分が低下するか、ないしは、pF2.0以上の水分含量の低下が大きいため、結果として、pF1.5とpF2.7の水分含量の差で表される有効水分量は同じか、ないしは上昇していた。堆肥のもつ水分保持能力が影響していたと考えられた。

3) pHおよび電気伝導度

pH(H₂O)の経年変化では、施用量や気象条件、生長量の違いにより、年度間のばらつきが大きかった(図3-5)。また各区同量ずつ石灰資材を施用しているが、作物による塩基分などの吸収量や溶脱の仕方の相違により区間の変化が大きかった。生育の悪い無窒素区が常に高い値を維持し、生育のよい化学肥料単用区や堆肥施用区で低下が著しかった。熔リンを1~2作目前に施用した総合改善区は、4~5作目までは無窒素区より高い値であったが、8作後から急激に低下し、その後は堆肥施用区よりもわずかに高い値を推移していた。

また石灰質資材は春作前に施用していたが、施用のすぐ後の春作跡地土壌よりも、その後の秋作跡地の方が高い値を示すことが多かった。これは土壌中の硝酸含量が秋作跡地では少なくなっていたこと、さらにダイコンよりもキャベツの方が石灰吸収量は、多かったことが一因していると考えられた。

pH(KCl)も個々のデータについては、多少のばらつきがあるものの、pH(H₂O)とおよそ1程度低い値を示しながら、同様の傾向がみられた。pH(H₂O, KCl)は同じ種類の土壌であっても、作物の種類や生育が気象条件などで大きく影響を受けているため石灰質資材の施用に関しては、土壌状態を十分に把握しながら行なう必要があるといえる。

土壌の電気伝導度は春作、秋作とも化学肥料を施用しているが、特に春作の跡地で高くなり、秋作跡地の電気伝導度の高さは年度によって異なり、比較的収量のよい年は低く、悪い年は高くなる傾向がみられた(図3-5)。区間の差では、無窒素区が非常に低い値で推移していた。化学肥料に堆肥を加えた堆肥施用区が春にはもっと高くなりやすく、1年間の

変動が大きかった。総合改善区と化学肥料単用区はそれよりも多少低い値であった。

電気伝導度の変化は、窒素や堆肥の施用が大きく関係していることが認められた。また熔リンは電気伝導度の変化には、ほとんど影響していなかった。

4) 交換性石灰量、交換性苦土量及び交換性カリ量

交換性石灰量については、各区同量の石灰資材を施用したが、春作と秋作の違いや年度によってばらつきながらも、作物による石灰吸収の悪い無窒素区で高く、吸収がよいその他の3区で年ごとに低下する傾向がみられた(図3-6)。特に化学肥料単用区で低下が著しく、堆肥を施用した2区では、堆肥からの補給もあり、化学肥料単用区ほど低くなかった。

交換性苦土量については、試験開始直後は無窒素区、化学肥料単用区、堆肥施用区の間で、大きな差はみられなかった(図3-6)。熔リンを施用した総合改善区だけが熔リンからの供給で非常に高い値を示していた。苦土入りの石灰資材を各区同量施用したが、10作ほど経過したあと、徐々に化学肥料単用区の含量が他の区よりも低くなり、また絶対量も低くなり、その後も低下傾向にあった。総合改善区は7~8作ほど経過後から急激に低下し、その後も減少傾向にあり、試験開始から10年間ほど経過した後で堆肥施用区とほぼ同じような数値と変動を示すようになった。熔リン施用による交換性苦土量の増加の効果は、10年ほどでなくなったことがみられた。また10t/haという多量の熔リンを続けて2回施用すると、土壌中の交換性苦土が2g/kg以上と非常に高くなるため、土壌中の可溶性リン酸が少ない場合でも、多量の熔リンを1度に施用することは好ましくないと考えられた。さらに石灰資材として苦土入りの炭酸カルシウムを施用すれば、ほぼ適量に保てることも認められた。

交換性カリ量は春作と秋作前にそれぞれ化学肥料でカリ分を施用しているが、春作の跡地で高くなり、秋作の跡地で低くなるという動きを毎年繰り返していた(図3-6)。春作跡地では堆肥施用区と総合改善区で特に高くなり、化学肥料単用区との差が大きくなることから、春作跡地の交換性カリ量の高さには堆肥施用の影響も無視できないと考えられた。またこの動きの変化は土壌電気伝導度と非常に似て

おり、交換性カリ自体も電気伝導度に少なからず関与していることが示唆された。

区間の比較としては、試験開始時には堆肥施用区と総合改善区がやや高く、無窒素区と化学肥料単用区がやや低い状態からスタートしていた。そのような中で化学肥料単用区は横ばい気味で、試験開始から20作程度経過後にわずかに上昇していた。無窒素区は毎年上昇し、7～8作後には堆肥施用区と総合改善区の値に追いついていた。その後も化学肥料単用区を除く3区の値は振れながらも上昇を続け、22～24作経過したあたりからやや低下する傾向がみられた。

1 ha 当たりカリ成分量で130 kg とキャベツやダイコンの通常の施肥基準量よりも少なくても、土壌中の含量が一番低い化学肥料単用区でさえ、一定の値を維持しており収穫量も十分あった。今後カリの施肥基準量自体を見直していく必要もある。堆肥を施用した区では徐々に増加しているので、これまで堆肥中の成分量を無視することも多かったが、土壌への負荷や生産環境への問題からも堆肥を併用する場合には、特に蓄積しやすいカリ分などの含有量にも配慮する必要があると考えられた。

5) 全炭素および全窒素

全炭素は試験開始時では4.8～5.0%程度であったが、毎年堆肥を30t / ha づつの施用で振れをみせながらも徐々に増加し、21年経過後(実験最終年)では、6%程度までになっており、およそ1%分が増加していた。熔リンを施用した総合改善区は堆肥施用区よりやや低い値を推移しており、全炭素の増加には寄与していないことが認められた(図3-7)。無窒素区は開始直後わずかな上昇もみられたが、その後は植物体残さなどの供給も他の区に比べて少なく、低下傾向にあった。化学肥料単用区では一度低下していたものの、根などの残さからの供給も多少あり、16～18作経過後あたりからわずかに増加の傾向がみられた。しかし21年経過後でも、試験開始時と比較して全炭素はほとんど変わらない値であった。

全窒素も全炭素と似た傾向を示していた(図3-7)。試験開始時ではどの区も0.35%程度の含有量であったが、堆肥の施用で振れながらも徐々に増加し、21年経過後では、0.55%程度までになっており、およそ0.2%相当が増加していた。熔リンを施用した総

合改善区は堆肥施用区よりやや低い値を推移しており、全炭素同様全窒素の増加にも寄与していないことが認められた。無窒素区では窒素肥料の施用がないため、開始直後から低下傾向にあった。しかし24～26作経過後から増加傾向に転じてきた。化学肥料単用区でも試験開始直後から低下傾向を示し、16作目あたりまでは無窒素区とほとんど同じ動きをしていた。16～18作経過後あたりから増加の傾向がみられ、無窒素区よりも上がり方が大きく、その差は大きくなった。両区とも試験開始時と比較して21年経過後でも全窒素はごくわずかに増えた値であった。

6) 可給態リン酸および陽イオン交換容量

可給態リン酸は試験開始直後の跡地土壌では、熔リンの施用により総合改善区がやや高めであったが、それ以外の3区は低い値から開始していた(図3-8)。総合改善区は約10～12作を経過するあたりまで上昇し続けたが、その後は低下傾向を示した。堆肥施用区は試験開始後、異常気象年に一時的に含有量が低下したが、ほぼ一貫して上昇を続け、試験開始から24～26作経過後には総合改善区と大差がなくなっていた。その時点あたりで熔リン施用による可給態リン酸増加の効果が消滅したことをうかがわせた。21年間にわたって堆肥を連用した場合、特に過剰ではないにしても、含有量が試験開始時の4～5倍(約1g / 1kg)に増加していたので、さらに長期的に堆肥施用を続ける場合は、堆肥中に含まれるリン酸にも考慮を払って、化学肥料の施用量を決めていく必要があると考えられた。無窒素区と化学肥料単用区の可給態リン酸はほとんど同じような動きをみせ、年々徐々に増加する傾向にあった。リン酸施用量は両区とも同量であるが、収穫量は大きく異なっていたので、無窒素区の可給態リン酸含量が大きく上昇すると想定できたが、実際は両区の間大きな開きはなかった。作物によるリン酸吸収の絶対量が他の多量要素に比べて比較的小さいことや、施用したリン酸の大半が土壌に吸着されること、そして根などから分泌される有機酸などによって、リン酸が溶け出しやすくなるが、無窒素区では根の生長量が小さいため、有機酸の分泌が少なく、リン酸の可給態化が起きにくかったことなどが影響していたと考えられた。

陽イオン交換容量は試験開始直後の跡地土壌で

は、総合改善区がすぐに高くなったが、それ以外の3区は低い値からスタートしていた(図3-8)。土壤中の可給態リン酸と似た傾向を示していた。総合改善区は開始から約8~10作経過後まで上昇し続けたが、その後は急激に低下傾向を示した。それ以外の3区も7~8作目程度までは同じような傾向で上昇し、その後は堆肥施用区が緩やかな低下傾向を示し、無窒素区と化学肥料単用区は急激な低下を示した。この時点で堆肥施用区と総合改善区と大差がなくなっていた。その後無窒素区は上昇し、堆肥施用区とほぼ同じような値になってからは非常に似た動

きをしていた。化学肥料単用区だけは低下が著しく、他の3区と徐々に差が広がっていった。各区とも26~27作目程度まで低下を続け、その後は上昇していった。21年経過後には堆肥を施用した2つの区が高く、試験開始時の10%程度高くなっており、次いで無窒素区が高く、開始時より数%程度上昇していた。化学肥料単用区はもっとも低く、試験開始時よりも低い値になっていた。可給態リン酸や全炭素と全ての変動が必ずしも一致したわけではなかったが、陽イオン交換容量の変化の仕方は、堆肥施用やリン酸施用の影響を受けていたと考えられた。

表3-1 供試した堆肥中の養分分析 (g/kg)

年	T-N	T-P	T-K	T-Ca	T-Mg
1976	21.4	12.9	20.8	30.2	10.6
1977	- ^z	-	-	-	-
1978	-	-	-	-	-
1979	27.3	19.3	22.0	27.2	7.8
1980	26.7	17.0	10.9	26.7	10.8
1981	26.0	16.6	14.9	30.2	7.7
1982	-	-	-	-	-
1983	32.7	16.0	12.0	35.0	8.2
1984	26.2	10.5	29.0	20.5	10.3
1985	30.4	13.2	17.9	34.5	8.6
1986	28.6	12.3	15.5	35.1	10.1
1987	29.0	14.2	22.1	33.1	11.7
1988	31.9	13.8	18.7	31.4	8.3
1989	27.1	11.5	20.0	18.9	11.1
1990	24.3	13.7	12.6	24.7	9.6
1991	31.2	12.5	19.4	30.1	10.4
1992	30.5	26.9	21.9	49.7	9.4
1993	-	-	-	-	-
1994	26.4	17.2	23.3	28.2	6.4
1995	-	-	-	-	-
1996	29.1	20.9	13.7	35.2	7.2

注) z: 保存してあった前年または前々年の堆肥を使用した。

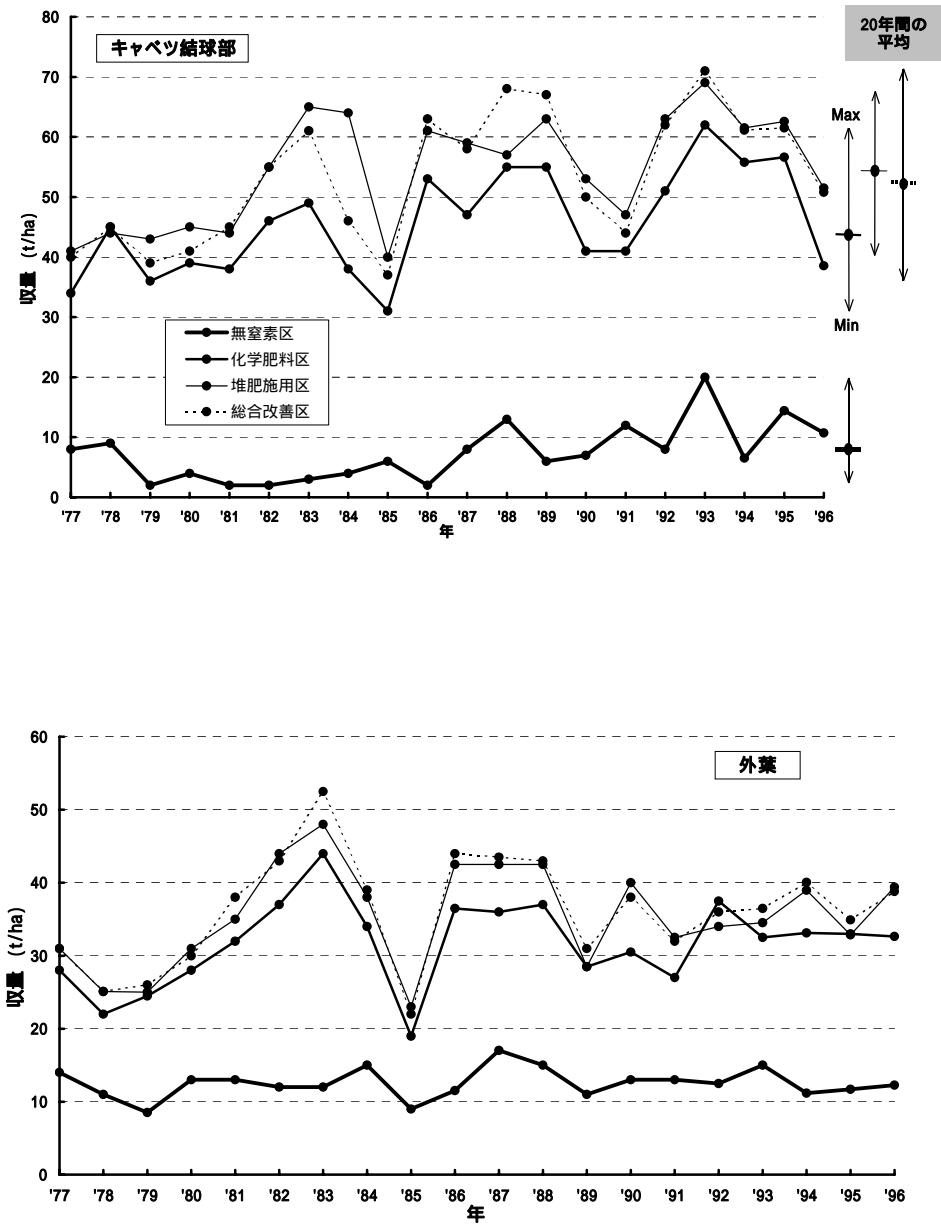


図 3-1 施肥条件の違いがキャベツの結球部と外葉部の収量に及ぼす影響

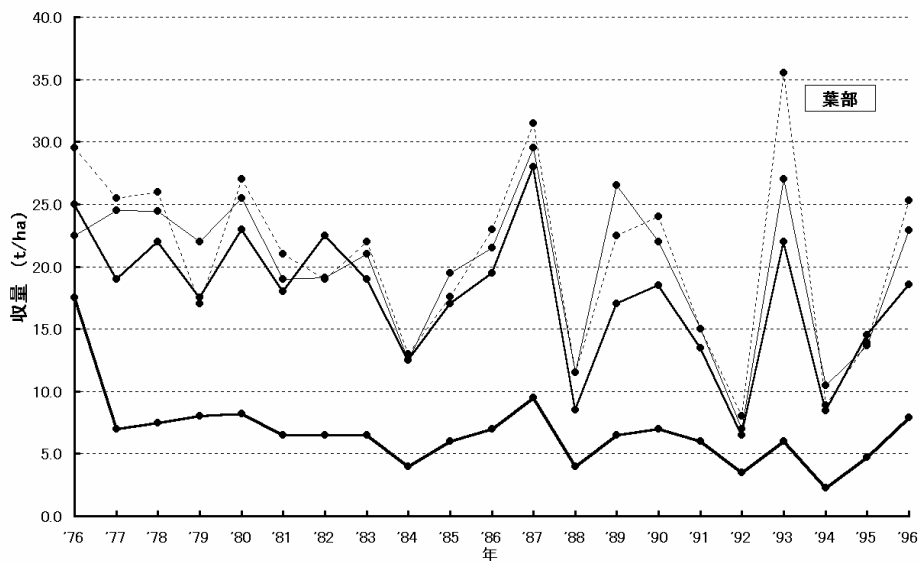
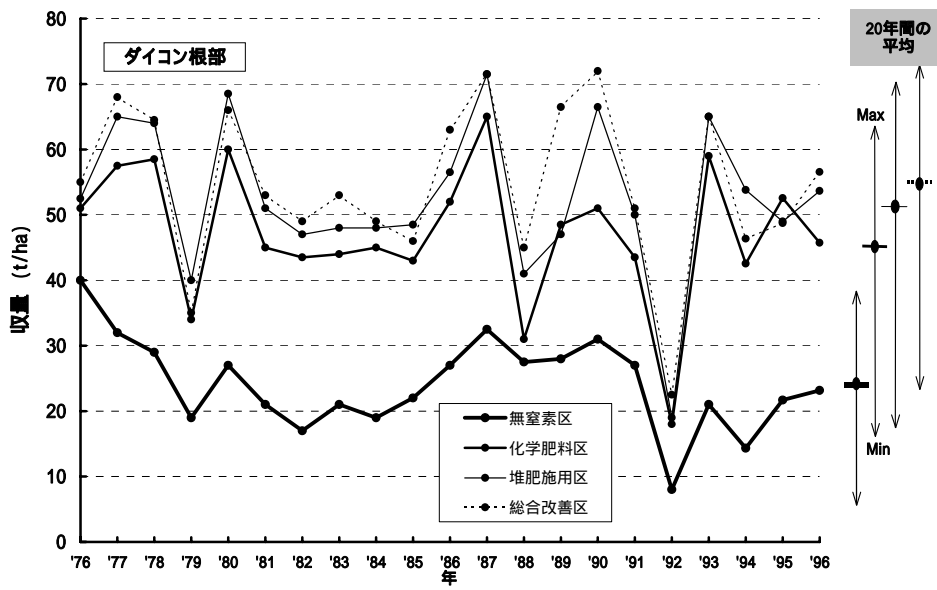


図 3-2 施肥条件の違いがダイコン根部と葉部の収量に及ぼす影響

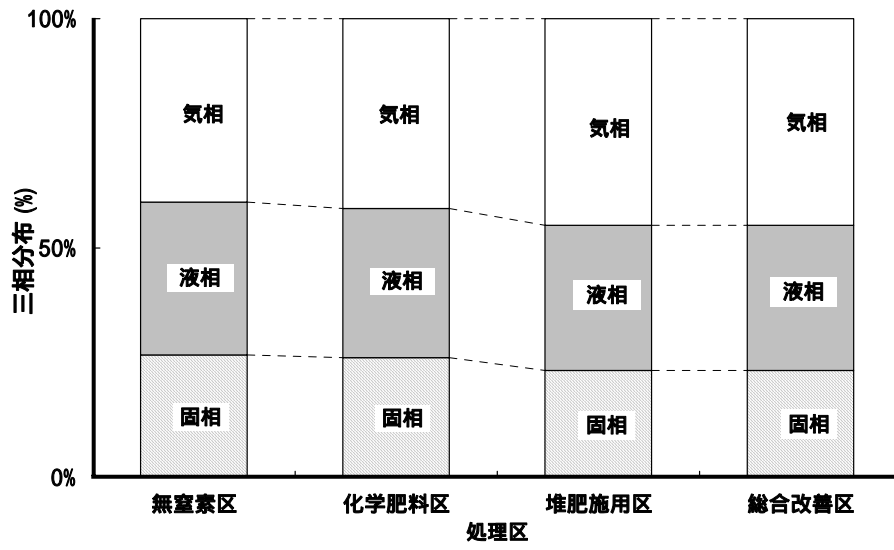


図 3-3 施肥条件の違いが三相分布に及ぼす影響

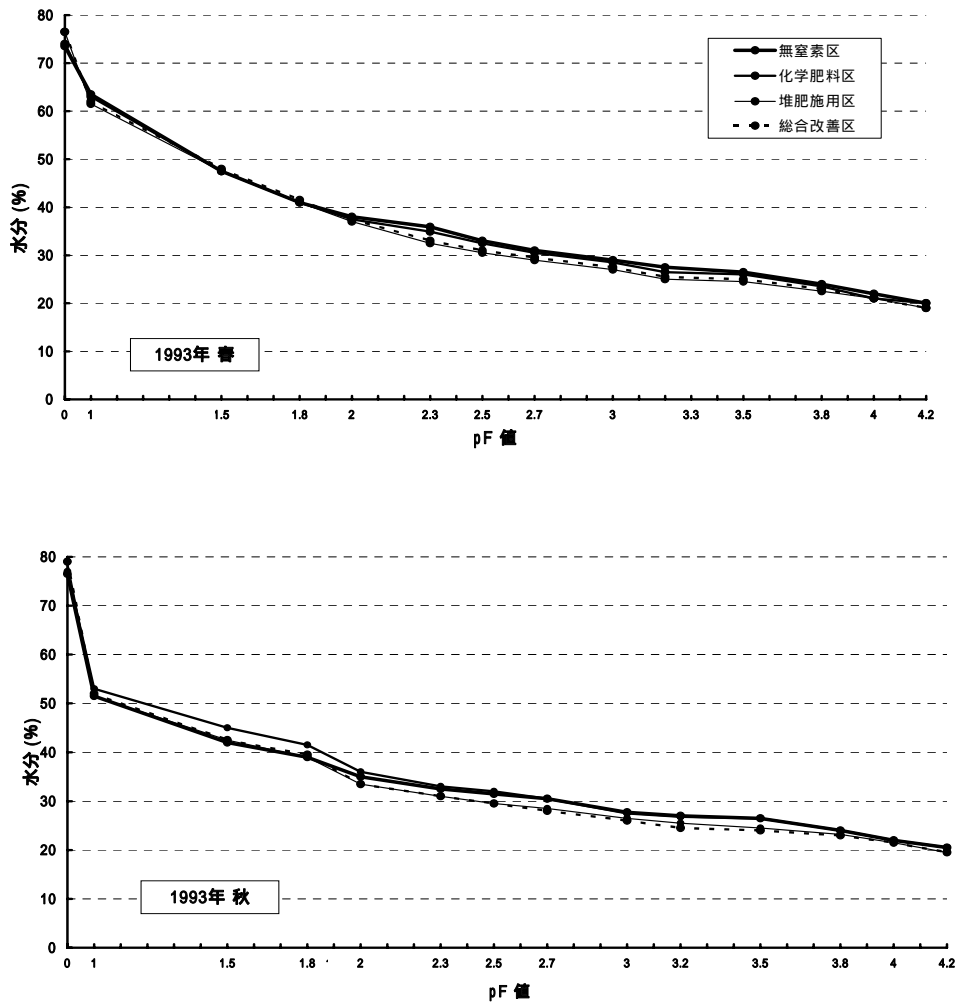
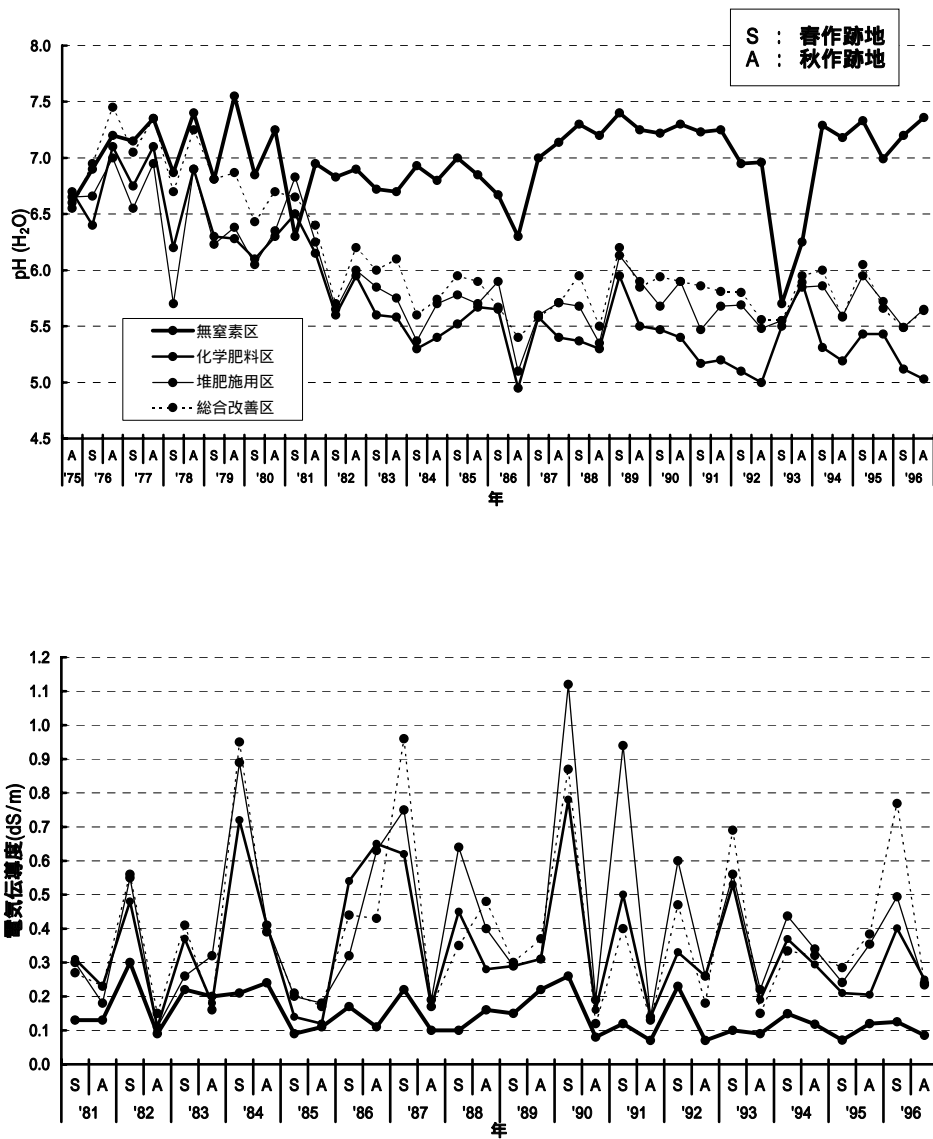
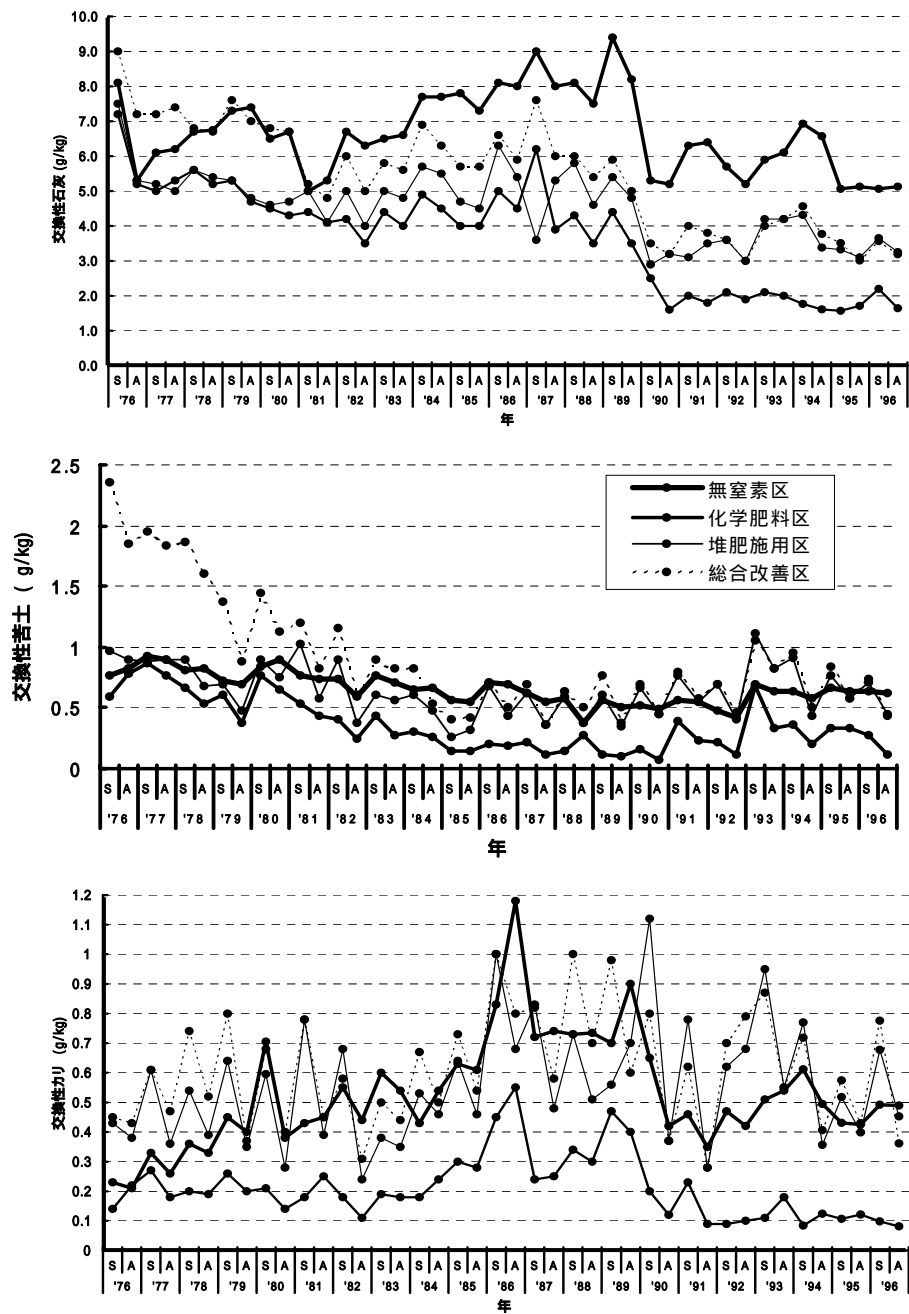


図 3-4 施肥条件の違いが pF 水分に及ぼす影響



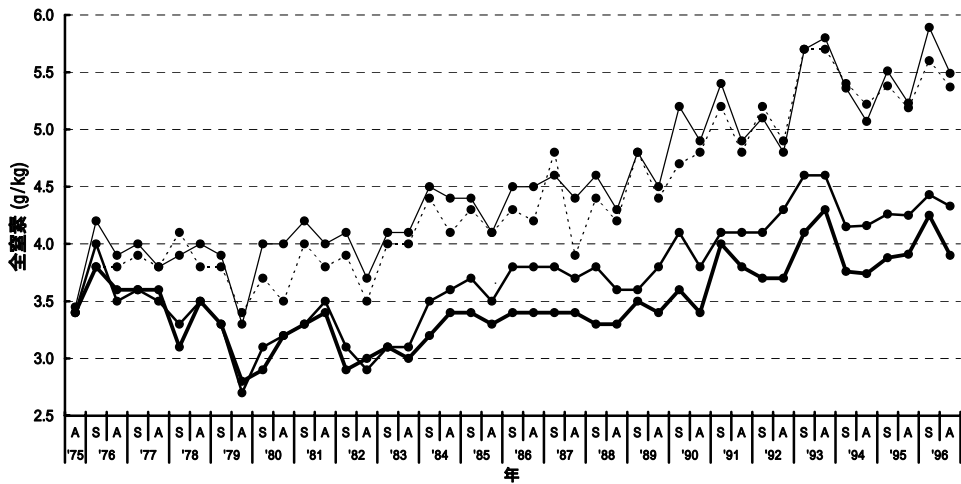
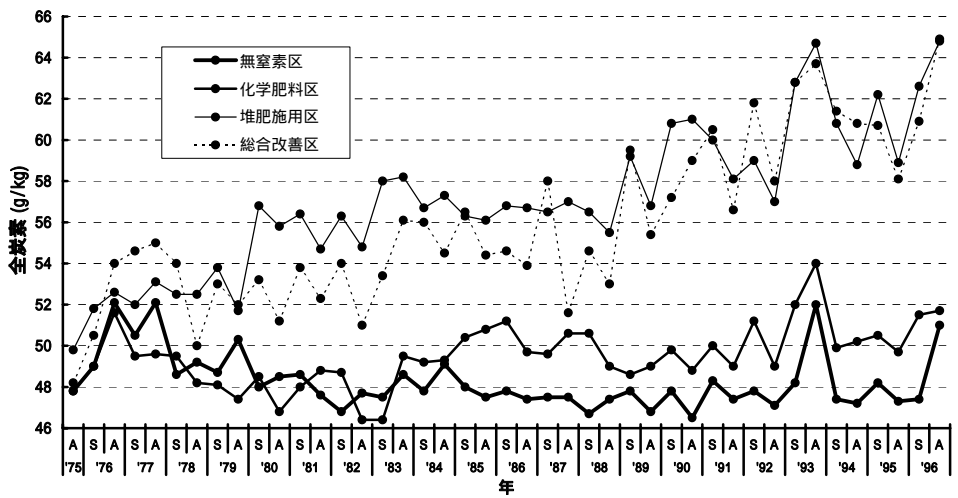
S：春作跡地土壌，A：秋作跡地土壌

図 3-5 施肥条件の違いが pH (H₂O) と電気伝導度に及ぼす影響



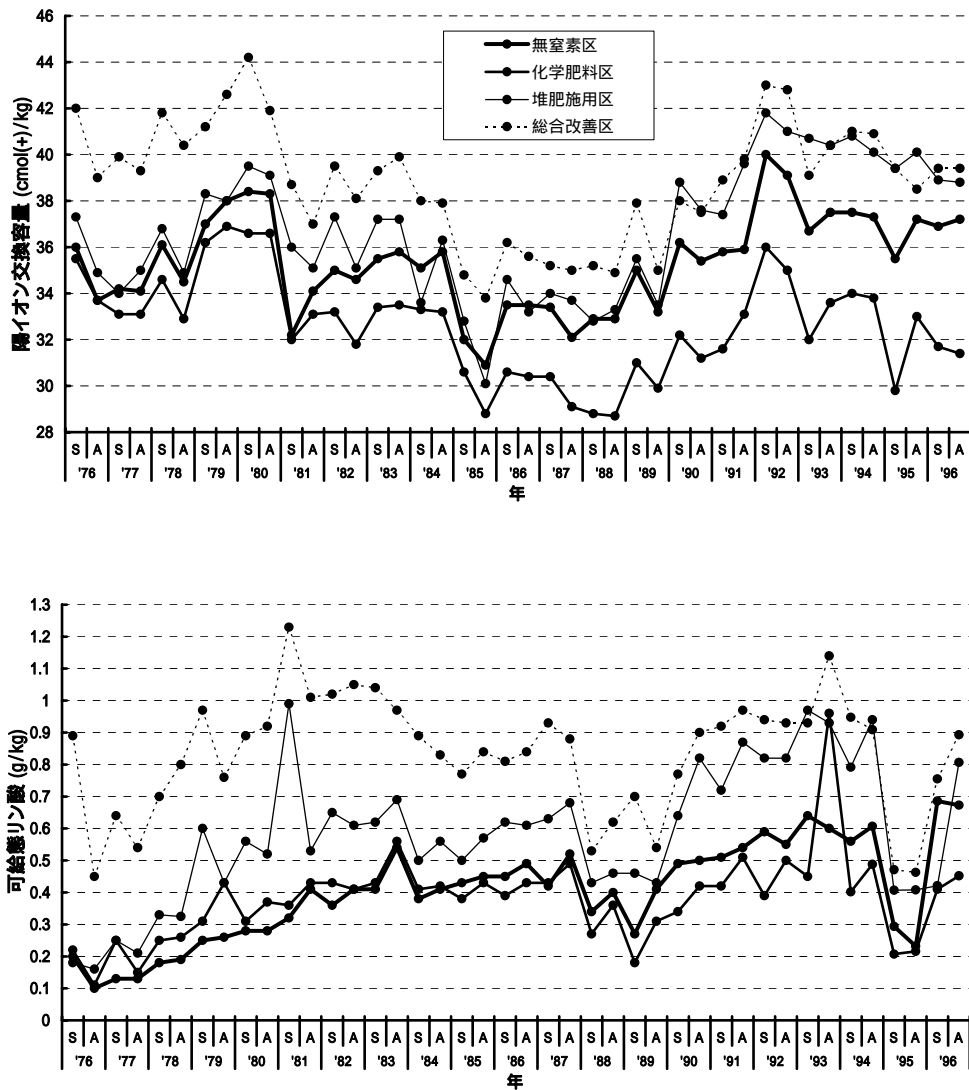
S : 春作跡地, A : 秋作跡地

図 3-6 施肥条件の違いが交換性石灰、交換性苦土および交換性カリに及ぼす影響



S：春作跡地，A：秋作跡地

図 3-7 施肥条件の違いが全炭素および全窒素に及ぼす影響



S: 春作跡地, A: 秋作跡地

図 3-8 施肥条件の違いが可給態リン酸および陽イオン交換容量に及ぼす影響

・堆肥施用とロータリー耕耘の組み合わせが黒ボク土の理化学性及び作物収量に及ぼす影響

1. 緒言

わが国の農業に大型農業機械が一般的に使われるようになって久しい。特に、耕耘は多くの時間を要する作業の一つであり、畜力による耕耘から小型ティラーによる機械力に、さらにはその主力がトラクター型ロータリー耕へと変遷してきた。特に、耕地の区画面積が小さい東京都の野菜畑では、ロータリー耕耘が主力である。

ロータリー耕は攪拌であり、土塊は細粉碎され、耕起層内は膨軟で比較的均一に整地される。しかし土層が反転・混入し、耕深の深いプラウ耕と比べると、耕深が浅く、トラクター車輪の走行による踏圧層の形成などの問題が指摘され、時々プラウ耕を導入することが指導されている（農水省農産園芸局，1996；土壌保全全国協議会，1991；東京都農試，1978）。しかしながら、農耕地の区画面積が比較的小さいわが国では、大型機械のプラウ耕よりは、小型で回転半径が小さく、しかも廉価なロータリー耕がまだまだ主力となっているのが現状である。

作付け回数が多い露地野菜畑では、年間に平均3～4回以上のロータリー耕耘が行われており、過度のロータリー耕耘による土壌の緻密化や強固な耕盤の形成が指摘されるようになってきた。ロータリー耕耘による土壌の変化やそれによる耕作体系の中で作物生産に及ぼす影響について長期的かつ科学的なデータを得、それをもとに判断すべきであると考えられる。

一方、土壌への堆肥の施用、特に連用は土壌の腐植分を増加させ土壌の団粒化や膨軟化を進めたり、保水力を高めたりするなど、土壌物理性を向上させること、および陽イオン交換容量や三要素、微量元素を増加させ、土壌の化学性をも向上させることが多くの研究によって報告されている（農水省農産園芸局，1996；農水省農産園芸局・土肥学会，1991；東京都農試，1978）ことから、ロータリー耕耘の欠点を補うために堆肥の連用を図ることが重要であると考えられる。

本章では、長期間にわたるロータリー耕耘が黒ボ

ク土の作土の理化学性と作物収量に及ぼす影響について、堆肥の連用との関係から検討した。

2. 材料および方法

東京都農業試験場（立川市）内の表層腐植質黒ボク土（米神統）の圃場に化学肥料・ロータリー耕耘区〔以下、（化＋耕）区と略記〕、化学肥料・ロータリー不耕耘区〔（化＋不耕）区〕、堆肥施用・ロータリー耕耘区〔（堆＋耕）区〕および堆肥施用・ロータリー不耕耘区〔（堆＋不耕）区〕の4試験区を設けた。ロータリー耕耘は年間3回実施した。時期は春作直前と春作と秋作の間と秋作の跡とした。またロータリー不耕耘区では、施肥時に浅く（10～15 cm）鋤起こしを行なう以外の耕耘は行わずに栽培した。一方、施肥は化学肥料施用区では、硫酸、過磷酸石灰（過石）、硫加を窒素、リン酸、カリ量が1 ha 当たりそれぞれ240, 170, 170 kgとなるように施用した。堆肥施用区では、前試験と同じバーク堆肥を用いて、リン酸として化学肥料と同量（170 kg）となるように堆肥を施した。窒素に関しては、利用率を50%として、堆肥からの窒素分は実際の含有量の半分として扱い、不足する窒素は硫酸を用いて240 kg/haになるまで補足した。カリについては、堆肥中のリン酸より、カリがわずかに多い（表3-1）ため、調整は行なわなかった。また石灰資材としては、苦土入り炭酸カルシウム（苦土石灰）を年度により、0～2,000 kg/haの間で各区同量ずつ施用した。苦土石灰を施用した場合には、年1回春作植え付けの耕耘前に全面に行った。

作物の栽培は、春作として5月上・中旬定植、6月下旬～7月上旬に収穫のキャベツ（品種：YR 錦秋152）を、秋作としては9月上旬播種、12月上～中旬収穫のダイコン（品種：都大根）を東京都における慣行法で栽培し、その生育と収量の変化を調査した。

また土壌の化学性の測定には、毎年キャベツおよびダイコンの収穫直後に各区から作土に相当する0～20 cmの間から採取し、土壌養分の分析用とした。圃場から採取した生土は、常温の日陰で約1ヵ月以上風乾後、粗大物や礫、ビニール片などのゴミを取り除いたあと、乳鉢で粉碎後2 mmの篩を通したものを供試した。CN分析およびリン酸については、さら

に微粉碎して分析に供した。土壌の分析は、すべて2連で行い平均化した。両者に5%以上の差が生じた場合は、再度2連で分析を行った。土壌の全炭素(T-C)および全窒素(T-N)はC/Nコーダー(柳本製, ヤナコ MT-500)(土壤養分測定法委員会, 1970d)によって測定した。pHは定法(土壤養分測定法委員会, 1970a)により, 1時間振とう後, pHメーター(DKK製)で, 電気伝導度(EC)は土壌:水=1:5で1時間振とう後, ECメーター(DKK製)で測定した(土壤養分測定法委員会, 1970c)。陽イオン交換容量(CEC)はセミマイクロ・ショーレンベルガー法(pH7, 1N酢酸アンモニウム液抽出; pH7, 80%エタノール洗浄, 1N塩化ナトリウム液抽出)およびホルモル法(0.1N水酸化ナトリウム液滴定)で行った(土壤養分測定法委員会, 1970b)。交換性陽イオン(交換性石灰, 交換性苦土, 交換性カリ)はセミマイクロ・ショーレンベルガー法による抽出液を原子吸光法(日立製, Z-4000)によって分析した(土壤養分測定法委員会, 1970b, f, g)。可給態リン酸はトルオーグリン酸抽出液を比色法(島津製, UV-1100分光光度計)によって測定した(土壤養分測定法委員会, 1970e)。

堆肥の成分測定には, 試料採取後常温の日陰で約1ヵ月以上風乾後, 粗大物や礫, ビニール片などのゴミを取り除いたあと, 粉碎機で微粉碎して分析に供試した。供試した堆肥の分析はすべて2連で行い平均化した。両者に5%以上の差が生じた場合は, 再度2連で分析を行った。堆肥の全炭素(T-C)および全窒素(T-N)はC/Nコーダーによって測定した。陽イオン(T-Ca, T-Mg, T-K)および全リン(T-P)は硝酸・過塩素酸分解した液を用いた。その後, 陽イオンは分解液の一部を原子吸光法によって分析した。T-Pは同じく分解液の一部を比色法によって測定した。

一方, 土壌の物理性の測定は以下の通りである。三相分布は圃場の表層部(5~10cm)から採土管を用いて3連で試料を採取し, 実験室内で実容積測定法によって測定した(土壤物理性測定法委員会, 1972a)。有効水分含量は三相分布を測定した同じ試料を採土管のまま用いて土柱法と加圧板法を組み合わせた方法で, さらに圃場におけるpF1.5の気相率は土柱法と実容積測定法を組み合わせた方法で測定した。pF4.2の体積含水率は遠心法(土壤物理性測

定法委員会, 1972b)によった。また, 最終年には土壌硬度を貫入式硬度計(大起製)によって連続測定した。

なお本実験は1976年(昭和51年)から1996年(平成8年)までの21年間にわたって実施したものである。特に1976年(昭和51年)は予備年とし, データは翌年からのものを使用して, 20年間分をとりまとめた。

3. 結果および考察

図4-1と図4-2に, 20年間の間における土壌中の全炭素および全窒素含量の推移を示した。図に示されるように, 化学肥料のみを施用した区的全炭素含量はロータリー耕耘の有無にかかわらずほとんど変化しなかった。一方堆肥施用区では顕著に増加し, その全炭素含量が開始時, 乾土1kg当たり0.05kgであったのが, 20年間の間に約0.07~0.08kgとなった。ロータリー耕耘の有無による差異は, 試験開始した1977年から2年間ほどは, ほとんど差がみられなかったが, それ以降になるとロータリー耕耘の有無によって差異がみられ, 不耕耘区の方が高い含量となった。これは耕耘によって, 土壌が好気的条件となり, 土壌微生物によって土壌有機物の分解が大きくなったものと考えられる。土壌中の全窒素含量についても, ほぼ同様の傾向がみられ, 化学肥料施用区ではほとんど一定であったが, 堆肥を連用すると, 土壌中の全窒素含量が次第に増加し, 中でもロータリー耕耘区よりも不耕耘区の方が若干高い傾向が示された。不耕耘区より耕耘した方が全窒素含量は低いことは, 全炭素含量と同様に有機態窒素の無機化が耕耘による好気条件下で促進され, さらに硝化の進行によって溶脱が多くなったことに関連するものと推測した。

こうした土壌有機物含量の推移にともなって, 土壌の理化学的性質の変化がどのように推移するかを検討した。図4-3はpF0~4.2で体積含水率を示したものである。測定を開始した1979年から10年ほどはばらつきが大きかったが, 12~13年経過後からは比較的安定してきた。pF4.2での含水率は各区でほとんど差がみられなくなり, pF0やpF1.5では堆肥を施用した区で体積含水率が高くなる傾向であった。図4-4は土壌の有効水分含量の変化を示した

ものであるが、(化+耕)区が最も低く推移し、(化+不耕)区と(堆+耕)区ではほとんど大差がなく、(堆+不耕)区は若干高く推移した。一方逆に pF 1.5 における気相率(図 4-4)は、試験開始時から数年の間は不耕耘区が低く、ロータリー耕耘区が大きい傾向で推移したが、測定開始後約 10 年を経た 1989 年頃からは全区間の間で差が小さくなった。そして開始時に比べ、全区とも 20 年間で土壌の有効水分含量は次第に少なくなり、逆に pF 1.5 の気相率は次第に高まる傾向がみられた。この有効水分の減少と気相率の増加は、三相分布の推移とも比較的良好に対応しており(図 4-5)、気相が漸次増加し、液相は若干減少していた。化学肥料を連用し、ロータリー耕耘を続けると、保水性が小さくなることを意味するものと考えられる。

土壌有機物の増加にともなう陽イオン交換容量の変化をみると、堆肥施用の有無によって異なり、堆肥の連用によって陽イオン交換容量が次第に増加することが示された。ロータリー耕耘の有無で比較すると、耕耘区がやや低い傾向が示された。このことは土壌の全炭素含量の推移とよく一致しており、陽イオン交換容量の増大はこの増加が一因していることが示唆される。また塩基飽和度は陽イオン交換容量と同じような動きをしており、堆肥を施用した陽イオン交換容量の高い区で高くなっていた(図 4-6)。堆肥からの塩基類供給と保肥力の高さで溶脱を抑えたことが要因と考えられた。耕耘による影響は小さかった。

交換性石灰および交換性苦土含量の推移をみると(図 4-7, 図 4-8)、石灰、苦土を含む苦土石灰の施用量が年度によって異なることもあり、測定年次による変動がかなり大きい。堆肥の連用区では明らかに塩基含量が高く推移しており、交換性苦土は特に顕著に高かった。交換性カリ含量をみると(図 4-9)、実験開始直後から 15 年間ほどは、堆肥施用区と化学肥料区の差は変動していた。その後は化学肥料区で低下傾向を示し、堆肥施用区の方が高い交換性カリ含量を示すようになった。水に溶けやすい化学肥料のカリ分は、土壌中に残りにくく変動しやすいのに対して、堆肥中のカリ分は土壌中にとどまりやすいことがうかがえた。またロータリー耕耘の有無による差は、化学肥料区では顕著でなかったが、

(堆+不耕)区では開始直後から 15 年経過した後で、やや高くなっていた。ロータリー耕耘の有無による交換性塩基含量の差異はほとんど認められなかった。石灰飽和度も塩基飽和度と似た傾向にあり、陽イオン交換容量や交換性石灰の高い堆肥施用の区で高くなっていた(図 4-7)。一方、土壌 pH は、化学肥料施用区がやや低く推移し、しかも開始時から比べると次第に低下する傾向にあった(図 4-10)。このことは化学肥料区的全窒素含量が低いことなどを考慮すると、塩基の溶脱が起こっていることを示唆するものとする。それに対し堆肥連用区は比較的高く推移し、しかも開始時とほとんど同じレベルが維持されていた。ロータリー耕耘の有無が pH の推移に及ぼす影響はほとんどみられなかった。毎年、作物収穫直後に採取した土壌の電気伝導度の値(図 4-10)は、化学肥料施用区で若干大きく、堆肥連用区は低い傾向がみられたが、それほど大きな差異は各区分ではみられなかった。

土壌中の可給態リン酸含量の推移をみれば、(堆+不耕)区は顕著に可給態リン酸含量が増加し、次いで(堆+耕)区も次第に増加したが、不耕耘区より少なかった(図 4-11)。(化+耕)区は試験開始時から数年間は増加したが、その後はほとんど変化なく推移した。(化+不耕)区はそれよりも若干高いもののほぼ同じレベルで推移した。また(堆+不耕)区に比べ、(堆+耕)区で可給態リン酸が少なかったのは、耕耘による好気的な条件の付加によって、堆肥の分解が促進され、堆肥中のリン酸が可溶化し、植物による吸収や土壌に固定されることに起因するものと考えられる。

最終年に層別別の土壌硬度を測定したが(図 4-12)、(化+耕)区は深さ 20 cm 位に 12~15 cm の硬い耕盤層ができており、(化+不耕)区は深さ 12 cm 位に 5 cm 程度の薄くて弱い耕盤が、(有+耕)区には深さ 20 cm 位に 10 cm 程度の弱い耕盤の形成がみられた。(有+不耕)区には、このような耕盤はみられなかった。本研究を実施した表層腐植質黒ボク土での 20 年間では、不透水層となるほどの硬度ではなく、さほどの問題とはいえないが、今後これがさらに継続されることによっては、水分の移動や根の伸長などの問題が生じる可能性は十分考えられるが、堆肥の施用によって、土壌の膨軟性が増し、十分な

収量が得られたものと推察される。

図 4-13 に、試験期間中におけるキャベツ結球重と横周囲の推移を示した。キャベツ結球重は、年度によって変動は大きかったが、全体的に年を経るごとに収量は上昇傾向にあった。キャベツ結球重の収量は 1977 年の試験開始直後では、処理区間に大きな差はみられなかったが、1981 年頃からは、その差が大きくなった。(化+不耕)区は各区の中で最も低く推移し、(化+耕)区はそれよりも高く推移していた。化学肥料単用においては、耕耘を行った方が 20 年間の間では、収量は高く、ロータリー耕耘が収量だけに限れば、プラスの要因となっていた。(堆+耕)区は試験開始から 4 年ほど経った 1981 年頃から最も高い収量を維持し続けた。(堆+不耕)区は(堆+耕)区よりは、収量は少なかったが、化学肥料だけの区よりはやや高い傾向がみられた。堆肥を施用した場合でも、ロータリー耕耘を行った方が、収量は高く、ロータリー耕耘による効果がみられた。また堆肥を施用すれば、ロータリー耕耘を行なわなくても十分な収量が得られることが認められた。キャベツの横周囲については、年度間および処理区間で、大きな差はなく、ほぼ一定していることが認められた。収量の増減があった場合でも、横周囲の変化はキャベツ結球重の差ほどはなく、わずかであった。

図 4-14 に、試験期間中におけるダイコン根重、葉重と根長の推移を示した。ダイコン根重はキャベツと同様、年度によって変動がみられたが、(堆+耕)区が比較的高い傾向を示していた。特に生育の良好な年度において、増収の差が大きかった。(化+

不耕)区と(化+耕)区は、値の低い年度が多かった。1987 年や 1992 年は異常気象と病虫害の発生の多い年であったが、このような年では、処理区間の差は小さくなっていた。化学肥料施用では、ロータリー耕耘の有無は、収量には大きな影響を与えず、また堆肥施用では明らかにロータリー耕耘を行った区で、収量が高いことからロータリー耕耘は腐植質の黒ボク土においては、土壤生産力を低下させているとはいえない結果であった。これらの傾向は葉重や根長でもみられた。

20 年間にわたる堆肥施用およびロータリー耕耘の有無が土壤の理化学性におよびす影響を検討した結果、堆肥の連用は土壤の理化学的な性質に大きく影響し、その肥沃度に関連する陽イオン交換容量や全炭素、全窒素、交換性石灰や交換性苦土、pH や電気伝導度の安全化などを増大させた。

本研究では、ロータリー耕耘および不耕耘との組み合わせで検討した結果、ロータリー耕耘は、土壤の理化学的な性状に対しては土壤有機物の分解を促し、不耕耘と比較して、全窒素や可給態リン酸含量が小さくなることを誘引していることが示された。しかしロータリー耕耘を行っても堆肥施用などの管理法によって、全窒素、交換性塩基分は上昇しており、また収量なども十分に得られており、ロータリー耕耘は農業生産にとって不可欠のものと考えられる。ただしロータリー耕耘をし続けると次層の緻密化がおきるので、堆肥施用とともに時々プラウによる耕耘を行なうなどの対策が必要と考えられた。

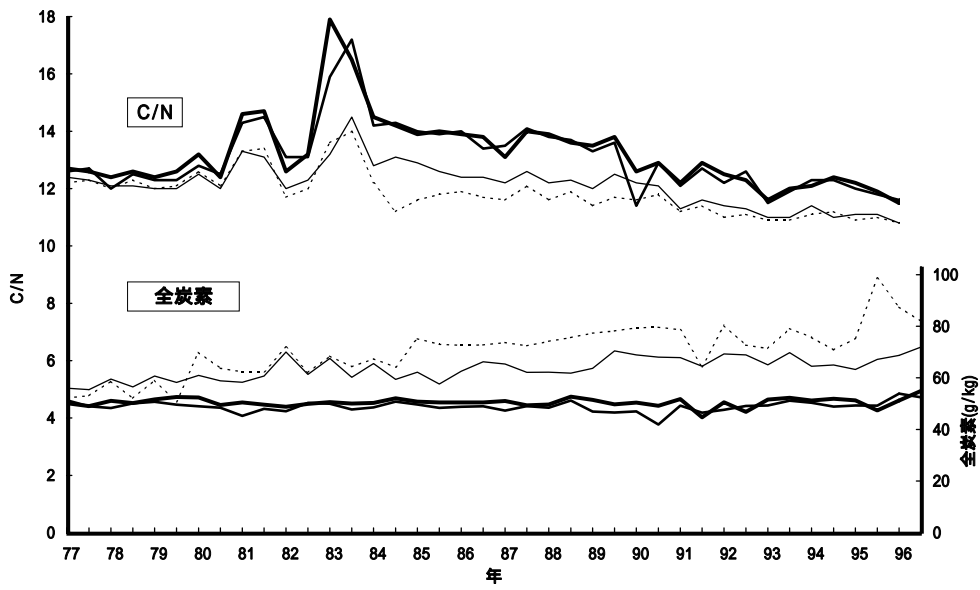


図 4-1 土壌の全炭素含量および C/N 比の経時変化

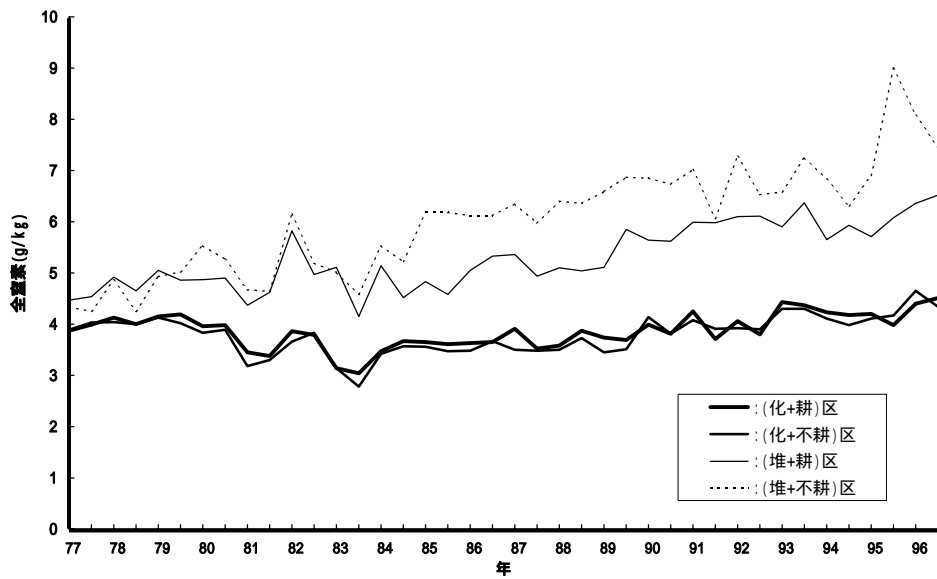


図 4-2 土壌の全炭素含量の変化

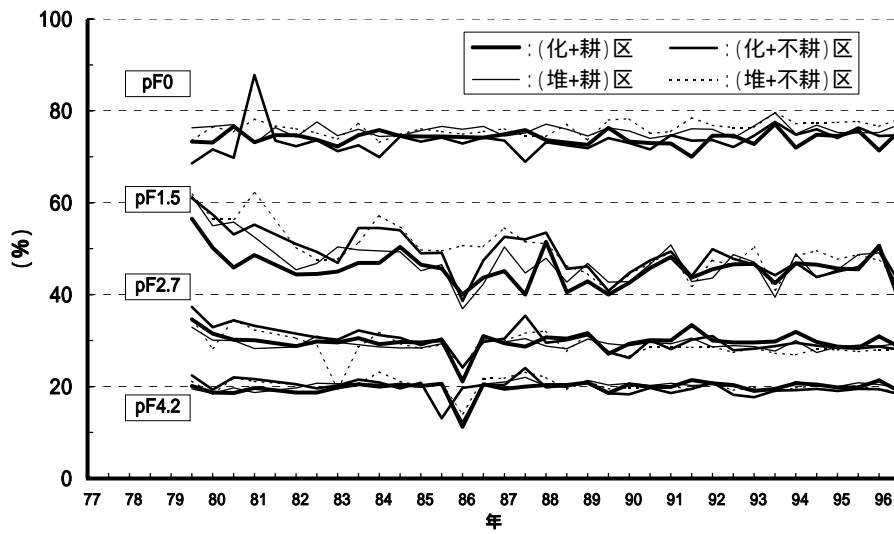


図 4-3 異なる pF での水分含量の変化

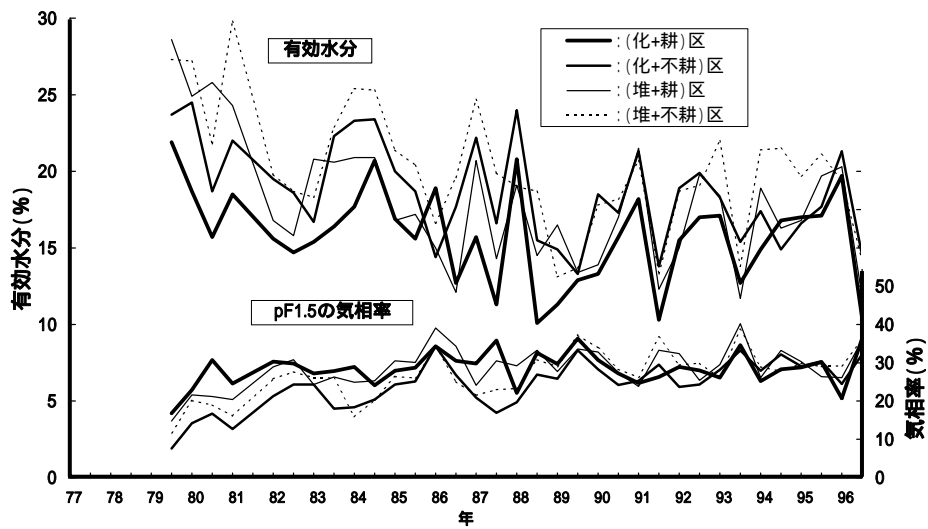


図 4-4 土壌の有効水分と気相気率の変化

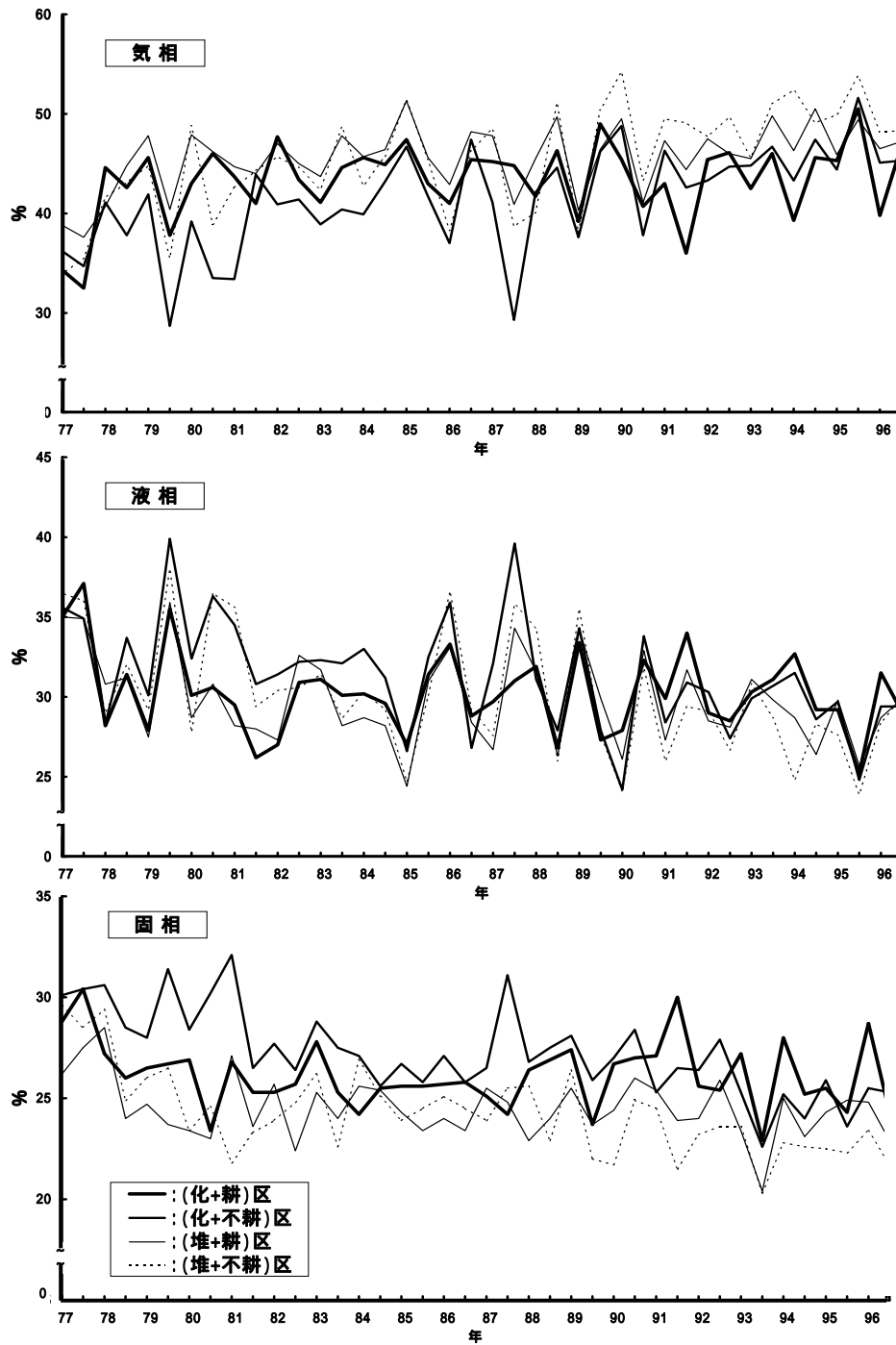


図 4-5 土壌の三相分布の変化

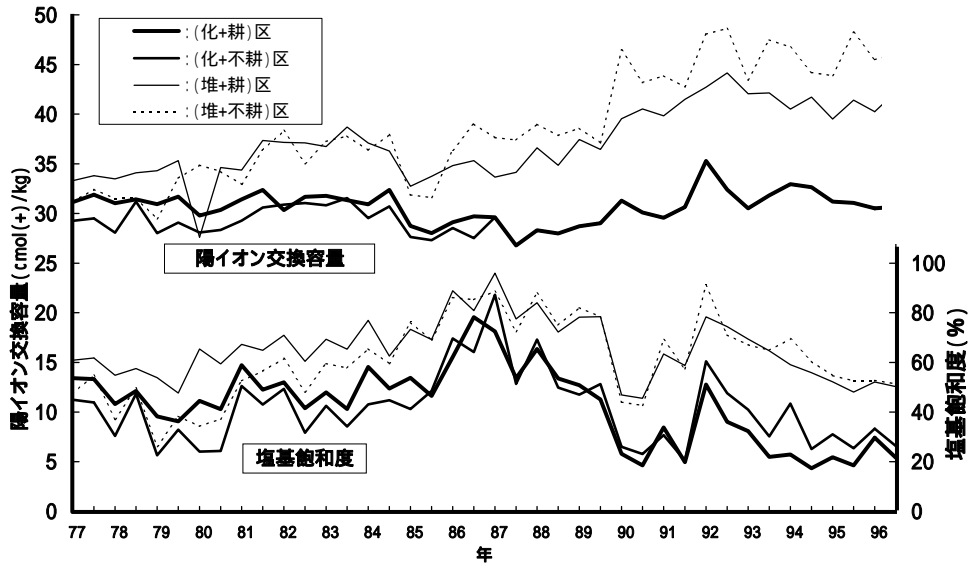


図 4-6 土壌の陽イオン交換量と塩基飽和度の変化

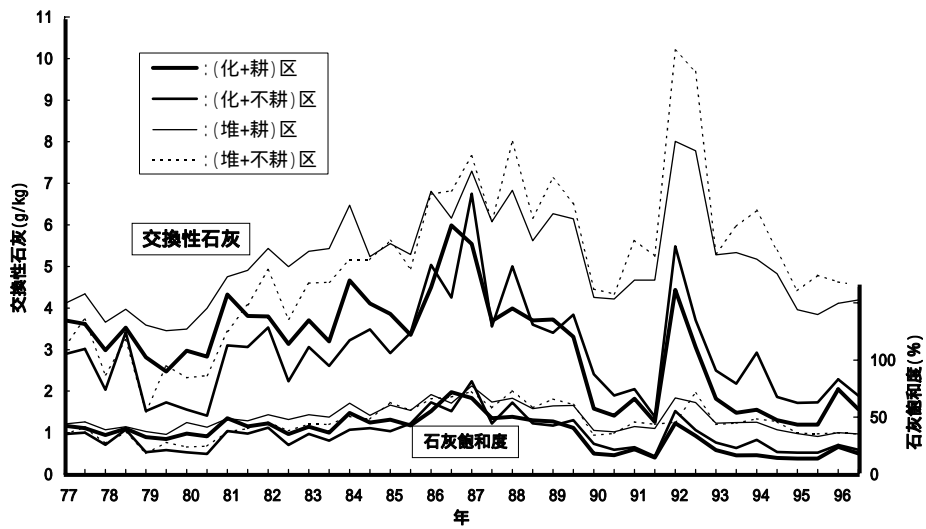


図 4-7 土壌の交換性石灰と石灰飽和度の変化

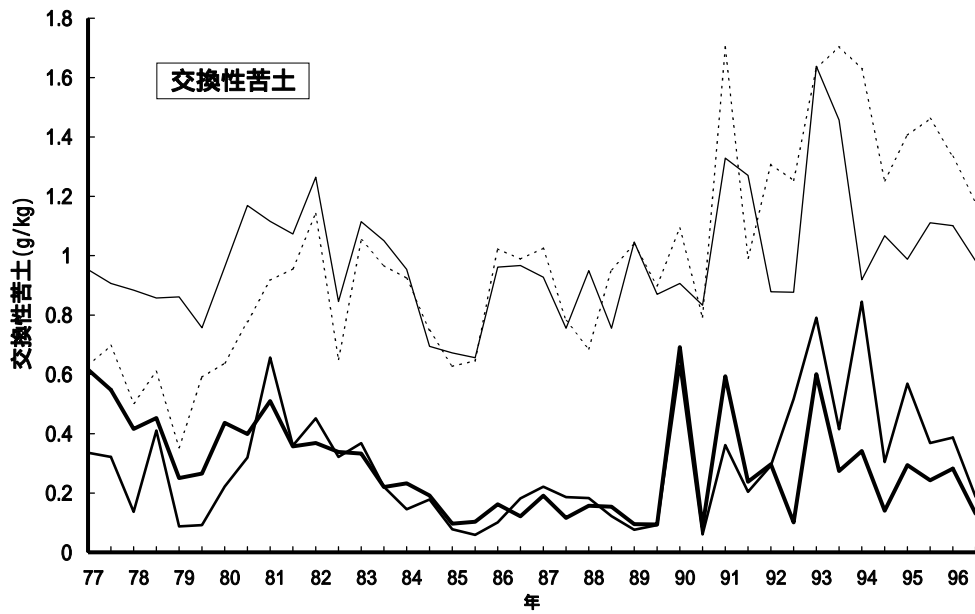


図 4-8 土壌の交換性苦土の変化

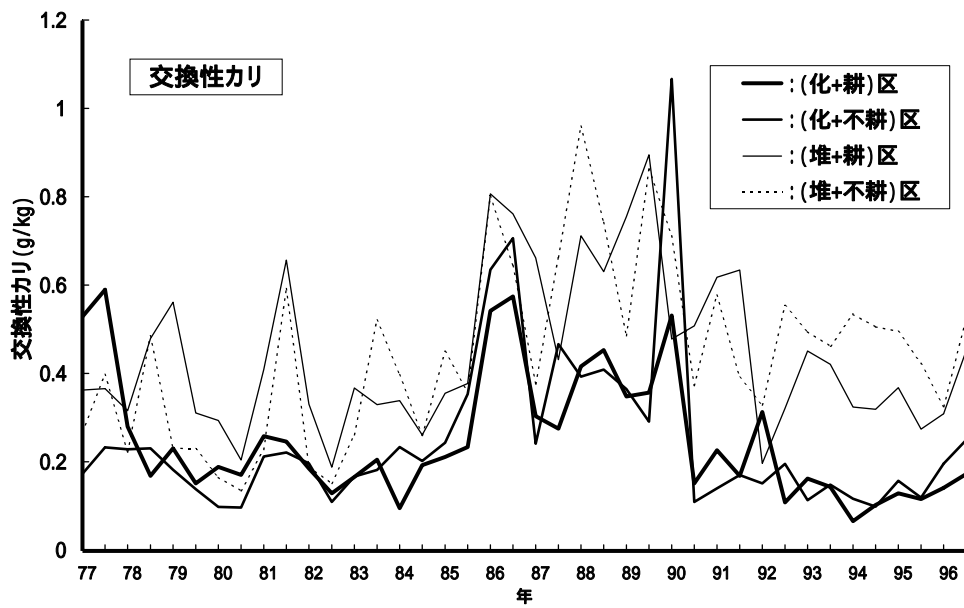


図 4-9 土壌の交換性カリの変化

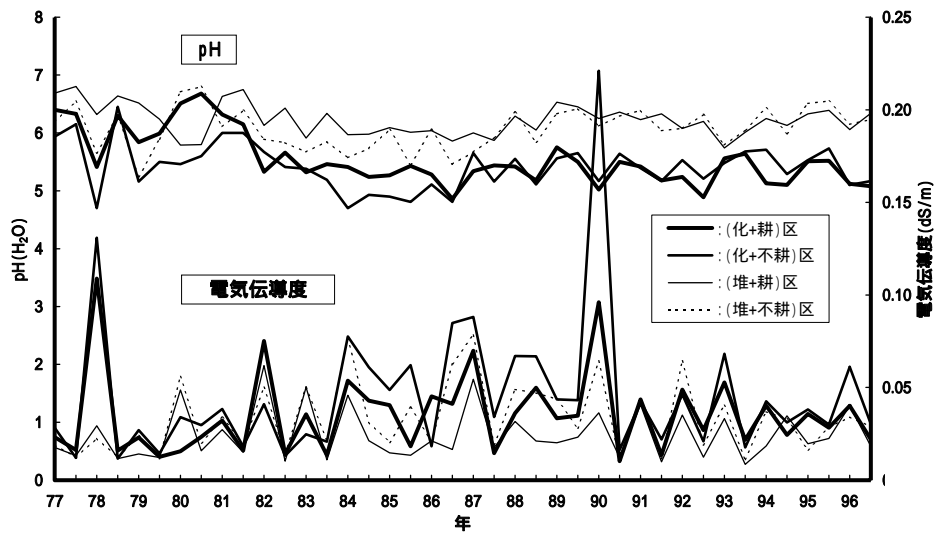


図 4-10 土壌の pH と電気伝導度の変化

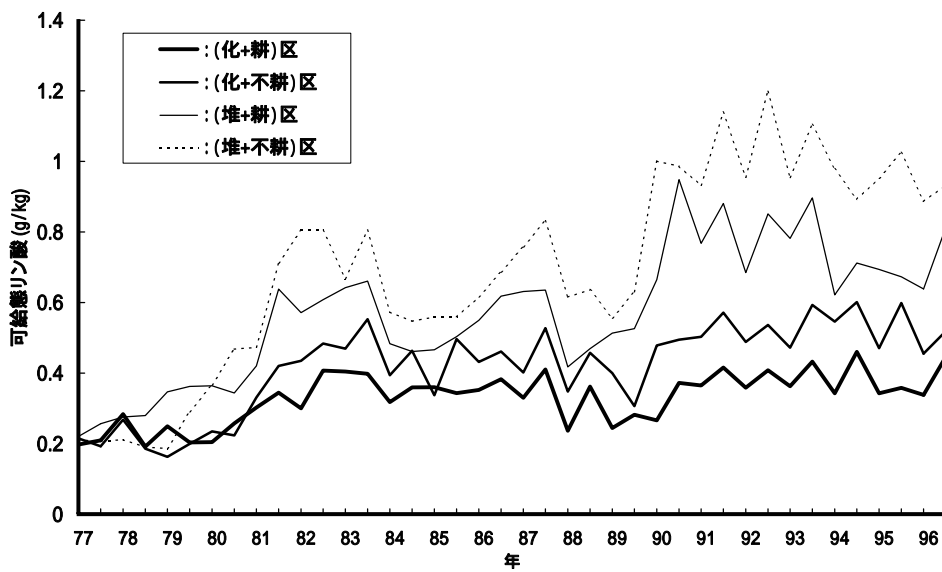


図 4-11 土壌の可給態リン酸含量の変化

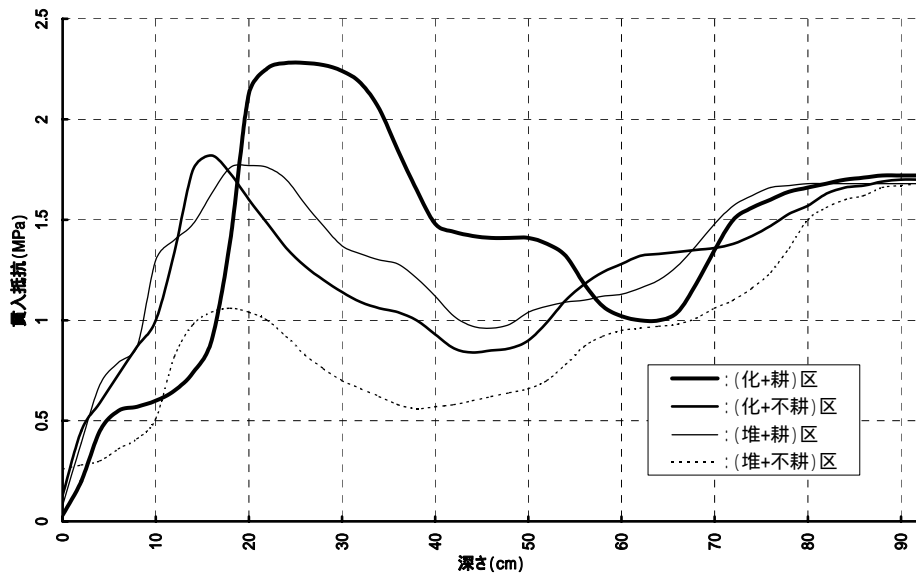


図 4-12 深さごとの土壌硬度（貫入抵抗）

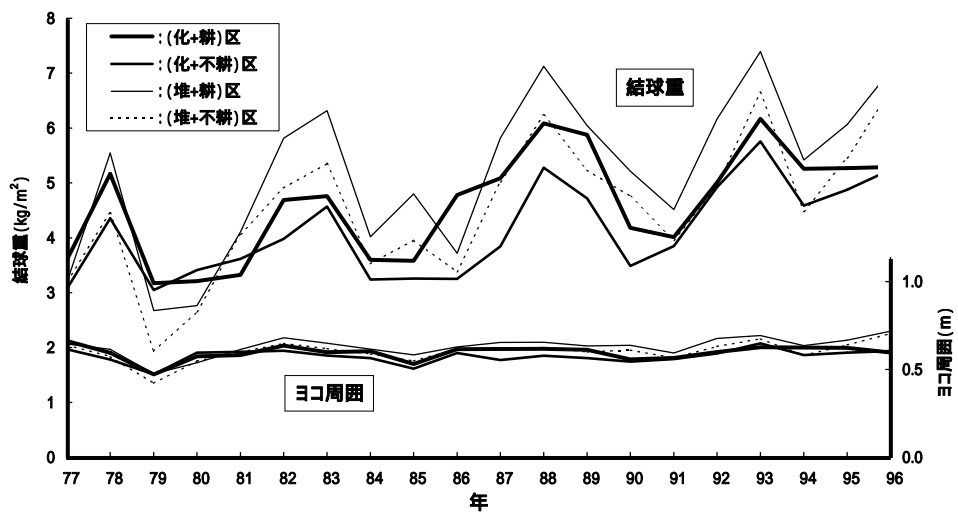


図 4-13 キャベツ結球部重と周囲長の変化

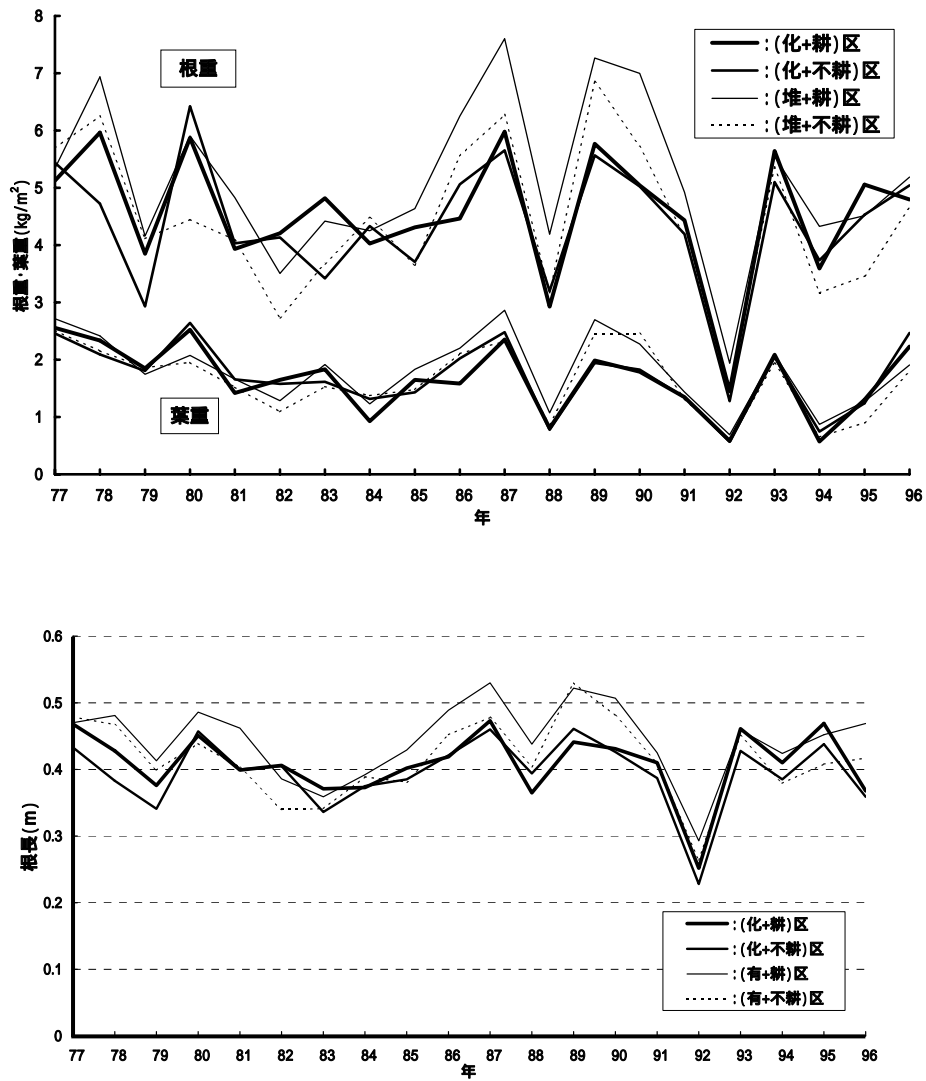


図 4-14 ダイコンの根重，葉重，根重の変化

・黒ボク畑土壌における作土層の深さが土壌の理化学性と作物収量に及ぼす影響

1. 緒言

東京都内の農耕地の調査・分析を行ったところ、野菜畑で問題になったのは、作土の浅層化と多肥に由来する養分の蓄積がみられたことであった（東京都農試，1978，1979～1998）。特に作付け回数とロータリー耕耘回数の多い野菜畑では、耕盤が形成され、作土層が浅くなり、農作物に影響の出ていることは、多くの農家が認めることである（農水省農産園芸局，1996，1979）。また多肥による養分過剰も農作物に害を与えることがひろく知られている（鈴木，1987）。

そこでこの作土層の深さを人為的に変え、作土層の深さが作物や土壌の理化学性に与える影響について調べた。また現実に多肥栽培が行われていることを考慮し、作土層の深さと多肥を組み合わせ、作土層の浅い場合の多肥が作物ならびに土壌に与える影響について検討した。

さらに耕盤の形成によって作土層が浅くなると土壌中の水の動きが制限されることから標準的な施肥であっても、養分蓄積がおこる可能性がある。作土層の深さと減肥を組み合わせ、作土層が浅くなった場合の施肥のあり方についても考察したものである。

本実験では、1992年から1993年まで作土層の深さと標準施肥・多肥との組み合わせについて、1996年に作土層の深さと標準施肥・減肥との組み合わせについて、同一の実験区を用いた連用実験として行った。

2. 材料および方法

(1) 作土層の深さと標準施肥・多肥との組み合わせ（第1実験）

1) 作土層の作り方と土壌条件

本実験では作土層を15cm，25cm，40cmの3水準とした。栽培圃場は、腐植層が35cm程度の表層腐植質黒ボク土であり、40cm区は淡色黒ボク土と腐植土が混ざる土壌になるため、各区が同じ条件になるように地表面から約50cmにあたる部分までを深耕機およびスコップを用い耕耘混和した。その後、約

15cmと25cmの深さにあたる表土を一度取り去り、露出した面を上から突き固め、山中式硬度計で厚さが10cm以上にわたって硬度20mm以上になるように耕盤を作った。さらに一度取り除いておいた土壌を埋め戻し、作土が15cm，25cmになるようにした。40cm区においては耕耘した状態のままにした。各区とも実験ごとに耕盤を作ることなく、毎作前にそれぞれ15cm，25cm，40cmまでロータリー耕耘機とスコップで耕耘した。

2) 実験条件（実験区の設定）

15cm・標準施肥区，25cm・標準施肥区，40cm・標準施肥区，15cm・多肥区，25cm・多肥区と40cm・多肥区の計6区を設けた。なお、標準施肥区は東京における標準施肥量とし、多肥は標準施肥量の50%増とした。

3) 供試作物，栽培規模と栽培密度

1992年は秋作としてブロッコリー（緑嶺，サカタのタネ）を1993年は秋作としてコマツナ（寅次郎，トキタ種苗）を供試した。1992春作はチンゲンサイを供試したが、病虫害の被害の影響が大きかったために除外した。1993年春作は無作付けであった。1区当たり5.6m²とし、ブロッコリーは各区21株定植した。コマツナは全面散播方式であった。

4) 栽培期間（定植期または播種期から収穫期まで）

ブロッコリーは9月10日に定植し、12月6日から12月17日までの間収穫をした。コマツナは10月27日に播種し、12月21日に収穫をした。

5) 施肥条件

堆肥は1990年に1ha当たり牛フンバーク堆肥10tを一度施用し、その後は施用せずに、1991年までは、1992年からの実験と同様の施肥量を各区に施用し、コマツナとチンゲンサイを春・秋に栽培し、実験は1992年から開始した。石灰質資材は苦土入り炭酸カルシウム（苦土石灰）を毎作ごとに1ha当たり2t施用した。

施肥量は、窒素：リン酸：カリ成分（kg/ha）として、標準施肥区のブロッコリーが200：200：200，コマツナが150：150：150，多肥区のブロッコリーが300：300：300，コマツナが225：225：225となるように、高度化成肥料を全面に散布し、それぞれの深さまで耕耘混入した。

実際の肥料としては、ブロッコリーの標準施肥の各区に化成42号(14:14:14)を元肥で600g、追肥で200gずつ施用し、多肥の各区に化成42号を元肥で900g、追肥で300gずつ施用した。

コマツナの施肥は元肥のみで、標準施肥の各区に化成42号を600gずつ、多肥の各区に化成42号を900gずつ施用した。

(2) 作土層の深さと標準施肥・減肥との組み合わせ(第2実験)

1) 実験畑の条件

第1実験で使用した畑を、1994年、1995年の2年間、施肥量を標準施肥量として、作付け前に作土層にあわせた耕耘深度で耕耘し、キュウリ、チンゲンサイ、ブロッコリー、コマツナの栽培を行った後、1996年から第2実験を開始した。

2) 実験条件(実験区の設定)

15cm作土層・標準施肥区、25cm作土層・標準施肥区、40cm・標準施肥区、15cm作土層・減肥区、25cm作土層・減肥区と40cm・減肥区の計6区を設けた。2年間を経て肥料分の影響は減少したものと考えられるが、前実験の標準施肥区を減肥区に、多肥区を標準施肥区とし、多肥区から減肥区への急激な変化は避けるようにした。

なお標準施肥は東京における標準施肥量を使用した。減肥は標準施肥量の20%減とした。

3) 供試作物、実験規模と栽植密度

1996年の春作としてキュウリ(南極2号、トキワ種苗)を、1996年の秋作としてブロッコリー(しげもり、協和種苗)を供試した。1区当たり5.6m²とし、キュウリは各区12株定植、ブロッコリーは各区21株定植した。

4) 栽培期間(定植期または播種期から収穫期まで)

キュウリは5月8日に定植し、5月29日から7月24日までの間収穫をした。ブロッコリーは9月20日に定植し、11月15日から12月8日までの間収穫をした。

5) 施肥条件

石灰質資材は苦土石灰を毎作ごとに1ha当たり2t施用した。耕耘前に全面散布し、15cm、25cm、40cmまでロータリー耕耘機を用いて耕耘混入した。施肥量は、窒素:リン酸:カリ成分kg/1haとして、

標準施肥区のキュウリが250:300:250、ブロッコリーが200:200:200で、減肥区のキュウリが200:240:200、ブロッコリーが160:160:160となるように、高度化成肥料と硫安、過石、硫加を組み合わせで施用した。

実際の肥料としては、キュウリの標準施肥の各区に元肥として、化成42号を600g、過燐酸石灰を494g、追肥で硫安133g、硫加56gずつ各2回施用。減肥の各区は元肥として化成42号を480g、過燐酸石灰395g、追肥で硫安107g、硫加45gずつ各2回施用した。

ブロッコリーは、標準施肥の各区に化成42号を元肥で600g、追肥で200gずつ施用。減肥の各区に化成42号を元肥で480g、追肥で160gずつ施用した。

6) 土壌採取・試料調整方法(鬼鞍, 1986; 前田, 1986a)

化学分析用の土壌の採取は、0~15cmの深さで、各実験区から3点ずつ採取し、それを均一に混ぜ合わせた。その後風乾し、2mmの篩を通した後、分析用試料とした。また、pH(H₂O)、pH(KCl)、電気伝導度(EC)は風乾土壌を用いて分析した後そのまま表示し、全炭素(T-C)、全窒素(T-N)、陽イオン交換容量(CEC)、可給態リン酸(P₂O₅)、交換性石灰(CaO)、交換性苦土(MgO)、交換性カリ(K₂O)は、風乾土壌を用いて分析した後、水分ファクターを乗じて乾土当たりで表示した。

7) 分析方法

第1実験と第2実験とも、前章と同様の方法で、三相分布(固相、液相、気相)、仮比重、pH(H₂O)、pH(KCl)、電気伝導度、全炭素、全窒素、陽イオン交換容量、可給態リン酸、交換性石灰、土壌の化学性分析を行った。

3. 結果および考察

(1) 作土層の深さと標準施肥・多肥との組み合わせ(第1実験)

東京都の標準施肥区と多肥区(1.5倍量)との間で作物生産を比較すると、1992年のブロッコリー花蕾重では、耕耘深度が浅くなるほど収量が減少した。多肥区では、標準施肥区に比較して収量が減少する傾向がみられた。40cm区で特に減少程度が大きく有意差がみられた(表5-1)。またブロッコリー外葉・莖重では、花蕾重と同様に、耕耘深度が浅

くなるほど収量が減少した。多肥区では、標準施肥区に比較して、花蕾重とは逆に収量が増加していた。25cm区で特に増加程度が大きく有意差がみられた。耕耘深度が浅いと根の伸びられる範囲が狭められ、根の生長が悪くなり、養水分吸収力が低下して減収につながったと考えられた。また肥料分、特に窒素肥料が多くなると、栄養生長が促進され、生殖生長が進みにくくなったため、多肥区で生殖機能をもつ花蕾部の収量が低下したと考えられた。

ブロッコリー地上部重では、重量のうち占める割合の高い外葉・茎重の影響を受けており、同様の傾向がみられた。耕耘深度が浅くなるほど収量が減少した。多肥区では、標準施肥区に比較して、25cm区で特に増加程度が大きく有意差がみられた。

1993年のコマツナ地上部重では、耕耘深度が浅くなるほど収量が減少した。多肥区では、標準施肥区に比較して収量が減少する傾向がみられたが、有意差は認められなかった(表5-2)。コマツナの葉長では、耕耘深度が深いほど長くなる傾向がみられたが、顕著な差ではなかった。多肥区では、標準施肥区に比較して、耕耘深度が浅い場合には、長さが短くなる傾向がみられた。葉色では、耕耘深度および施肥量の違いによる顕著な差はなかった。作物地上部の水分含量は40cm区で他の区よりもやや高くなる傾向もみられたが、顕著な差は認められなかった。

ブロッコリー跡地土壌(0~15cm)の理化学性をみると、三相分布に大きな差はなかったが、40cm多肥区でやや気相の高くなる傾向にあった(第5-3表)。また多肥の仮比重が多少高めであった。標準施肥に比較して多肥の方では、交換性石灰と交換性苦土の溶脱が大きく、pHも低下していた。また多肥区の中では、作土層の深いほど交換性石灰や交換性苦土の含有量が少なく、石灰飽和度や塩基飽和度が低くなっていた。電気伝導度は多肥の区が全体に高かった。しかし作土層の浅い区と40cm区で電気伝導度に大きな違いはなかった。施肥したリン酸分はそのままでは土壌中を移動しにくく、耕耘によって土壌中に混入されるため、標準施肥・多肥とも作土層の深い区ほど可給態リン酸の含有量は低下した。また作土層が浅い場合には多肥区で可給態リン酸や交換性石灰、交換性苦土などの養分集積のおこっていること

が認められた。しかし全炭素や全窒素は区間の差はなかった(表5-3)。

コマツナの跡地土壌(0~15cm)をみると、三相分布のうちの固相や仮比重に大きな差はないものの40cm区で、液相がやや低下し、気相が上昇している傾向がみられた(表5-4)。化学性については、多肥区で電気伝導度や可給態リン酸が高くなっていた。また作土層の浅い区ほどそれらの値が高い傾向もみられ、コマツナ跡地でも浅い作土層の多肥区では養分集積がおきていた(表5-4)。陽イオン交換容量は通常粘土鉱物や有機物含量、リン酸含量の影響を受けやすいが、15cm区と40cm区では、可給態リン酸と比較的似た傾向にあった(表5-4)。交換性の交換性石灰や交換性苦土は多肥区で溶脱が激しいことから低下が著しく、また多肥区では、耕耘深度が大きいほど低くなっていた(表5-4)。多肥した場合、特に窒素が多くなると、土壌中での硝酸化が進んで硝酸態窒素が増加し、その硝酸によって交換性石灰や交換性苦土が土壌溶液中に溶け出しやすくなる。土壌溶液中に溶け出てくると、降雨などの時下方へ移動する水分とともに流れ去るため、溶脱が激しくなると考えられた。全炭素や全窒素は作土層の浅い区ほど高い傾向がみられたが、C/N比には顕著な差は認められなかった(表5-4)。

以上より、ブロッコリーでは作土層の深さが花蕾部の収量に大きく影響することが明らかになった。そのため栽培を行なう上では耕盤を形成しないような管理を行なうこと、具体的には過度の高速ロータリー耕耘を避け、時々プラウによる耕耘を行なうこと、深耕を行なうことなどが求められる。また多肥すると、花蕾部の収量は減収した。そのため多肥栽培を避けることも重要であると判断された。また作土層が浅い場合は、根が十分に伸びきれないこと、さらに耕盤によって土壌中の水や空気の流れが悪くなったことなどが減収の原因と考えられた。またコマツナにおいても浅い作土層と多肥は収量を低下させることが認められた。コマツナに関しても作土層が浅い場合には、ブロッコリーでみられたような要因が根圏部に生じ、減収につながったものと考えられた。また浅い耕盤があるとそれ以上の下層部に養分が入っていかないため、養分濃度が高くなることが推察されるので、作土層の深さに合った施肥量と

いう考え方を今後導入する必要があると考えられる。15cm・25cm区では標準施肥区の施肥量でも多く、養分集積による作物の生育抑制の可能性があった。コマツナで40cm区が多肥区の収量が減少した要因は、同一の畑での連用実験であることから、蓄積養分が大きくなり、収量減少が発生したと考えられた。

第1実験の結果、東京都の標準施肥量でも、作土層が浅い場合には、根群域が制限されることに加え、養分集積による作物の濃度障害や収量低下の影響が考えられることから、第2実験では標準施肥量より少ない施肥量で作物生産を検討することとした。

(2) 作土層の深さと標準施肥・減肥との組み合わせ(第2実験)

標準施肥区と減肥区を比較すると、1996年のキュウリでは、作土層の浅い15cm区では減肥によって収量が増加したが、40cm区では標準施肥区の方の収量が大であった(表5-5)。1996年のブロッコリー花蕾重では、減肥した3区と40cm区の標準施肥区の収量には差がなかった。またブロッコリー全体重は、それぞれの耕耘深度で減肥区が大きくなり、減肥によって収量が増加した。

この結果、作物の種類によっては、40cm区で減肥の効果のない場合があるが、作土層が浅い場合は、減肥は有効な措置であることが示唆された。

キュウリの跡地土壌(0~15cm)の理化学性では、標準施肥区の40cm区でやや気相が高かったが、全体的には三相分布や仮比重に顕著な差はみられなかった(表5-6)。電気伝導度はキュウリでは、養分吸収がよいこともあり、特に大きな差はなかった。pHや可給態リン酸、塩基分は作土層が浅いほど高い傾向にあった。また減肥区では、可給態リン酸や塩基分は低くなり、標準施肥区では蓄積傾向がみられた(表5-7)。

ブロッコリーの跡地土壌(0~15cm)の理化学性では、減肥区の15cm区で気相が高かったものの、

標準施肥区の15cm区では、気相が小さくなるなど全体的に表層の三層分布の値にはばらつきが大きかった(表5-8)。化学性では、電気伝導度は減肥区が低くなっていた(表5-8)。可給態リン酸、塩基類や陽イオン交換容量は作土層が浅いほど高い傾向にあり、特に可給態リン酸の蓄積が激しくなっていた(表5-8)。

キュウリ、ブロッコリーともC/N比に顕著な区間差はみられなかったが、標準施肥では全炭素と全窒素は作土層が浅いほど高い傾向がみられた(表5-7, 表5-8)。

以上より、作土層が浅くなるほど、作物収量は低下することが認められた。キュウリでは、深耕して根が十分に伸びられるのであれば、現行の施肥量が適当であり、減肥する必要はなく、作土層が浅い場合には、現行の施肥量を減らすような栽培管理を行った方がよいと考えられた。またブロッコリーにおいては、第1実験では地上部全体重および花蕾重とも多肥の影響が少ないのに対して、第2実験では減肥の効果が認められている。多肥して窒素分が過剰になると茎葉が大きくなり、花蕾重の小さくなることが知られている(松丸ら, 1989; 矢崎, 1994)が、第1実験の多肥区で地上部全体が同程度であるのに花蕾重が減少した要因は、このような肥料反応に起因すると考えられた。第2実験では減肥効果が認められたのは、窒素分が過剰から適正化し、花蕾の生育が進んだためと推察された。これらからブロッコリー栽培では、作土層の浅い場合には、土壤中への肥料分の蓄積によって作物収量が低下することから、20%程度の減肥を行った方が良好な生産をもたらすものと考えられた。したがって今後の土壌診断や土壌管理においては、これまでの化学性分析に加え、作土深に対する考慮も導入して判断する必要があると考えられた。

表 5-1 作土層の深さと施肥量がブロッコリーの収量に及ぼす影響 (1992 年秋作)

施肥量	作土層 の深さ (cm)	花 蕾 重		外葉・茎重 (kg/ha)	地上部重		最大草丈 (cm)
		(kg/ha)	指数		(kg/ha)	指数	
標準	15	7,984c	64	43,879d	51,863c	72	58.0de
	25	9,034bc	73	45,788cd	54,822c	76	61.0cd
	40	12,409a	100	59,640a	72,049a	100	67.2ab
多肥	15	7,295c	60	45,829c	53,224c	74	56.9e
	25	8,351c	67	52,309b	60,660b	84	63.9bc
	40	10,571b	85	63,416a	73,987a	102	68.3a

注) 花蕾は 15cm の長さで採取し、最大草丈は地表面から葉を上へ伸ばした先までの高さとした。
 指数は 40cm・標準施肥量区を 100 とした。
 列内で異なるアルファベットは Duncan's multiple range test により、5%水準で有意差ありを示す。

表 5-2 作土層の深さと施肥量がコマツナの収量に及ぼす影響 (1993 年秋作)

施肥量	作土層 の深さ (cm)	地上部重		葉長 (cm)	葉色 (SPAD)	地上部 水分 (%)
		(kg/ha)	指数			
標準	15	10,471b	71	12.0ab	50.3	88.4
	25	12,571ab	86	12.3a	49.9	88.7
	40	14,657a	100	12.6a	51.1	89.2
多肥	15	9,214b	63	11.6ab	50.9	88.4
	25	11,000ab	75	10.9b	50.2	88.8
	40	13,143a	90	12.9a	50.3	89.2

注) 花蕾は 15cm の長さで採取し、最大草丈は地表面から葉を上へ伸ばした先までの高さとした。
 指数は 40cm・標準施肥量区を 100 とした。
 列内で異なるアルファベットは Duncan's multiple range test により、5%水準で有意差ありを示す。

表5-3 作土層の深さと施肥量がブロッコリー跡地の土壤理化学性に及ぼす影響(1992年秋作)

施肥量	作土層の深さ (cm)	三相分布 (%)			仮比重 (g/ml)	PH		電気伝導度 (dS/m)	可給態リン酸 (g/kg)
		固相	液相	気相		H ₂ O	KCl		
標準	15	22.3	36.3	41.4	0.59	6.52	5.68	0.159	0.31
	25	22.1	39.1	38.8	0.58	6.61	5.77	0.114	0.26
	40	23.3	35.9	40.8	0.58	6.52	5.80	0.223	0.19
多肥	15	23.6	39.8	36.6	0.61	6.31	5.60	0.289	0.4
	25	23.5	40.1	36.4	0.61	6.16	5.41	0.335	0.33
	40	22.7	34.3	43.0	0.59	5.64	5.09	0.270	0.27

施肥量	作土層の深さ (cm)	陽イオン交換容量 (Cmol(+)/kg/kg)	交換性塩基 (g/kg)			石灰飽和度 (%)	塩基飽和度 (%)	全炭素 (g/kg)	全窒素 (g/kg)	C/N
			CaO	MgO	K ₂ O					
標準	15	38.0	6.70	1.65	0.39	62.8	86.8	53	4.4	12.1
	25	39.2	6.80	1.62	0.34	61.9	84.4	55	4.6	11.9
	40	37.6	6.35	1.52	0.42	60.3	83.5	50	4.1	12.2
多肥	15	39.1	4.76	1.16	0.32	43.4	60.1	54	4.6	11.6
	25	40.3	4.61	1.15	0.34	40.8	57.1	55	4.7	11.7
	40	35.2	3.32	0.62	0.32	33.7	44.6	52	4.4	11.7

表5-4 作土層の深さと施肥量がコマツナ跡地の土壤理化学性に及ぼす影響(1993年秋作)

施肥量	作土層の深さ (cm)	三相分布 (%)			仮比重 (g/ml)	pH		電気伝導度 (dS/m)	可給態リン酸 (g/kg)
		固相	液相	気相		H ₂ O	KCl		
標準	15	22.8	36.6	40.6	0.61	6.74	6.13	0.215	0.44
	25	23.0	36.4	40.6	0.60	6.76	6.22	0.153	0.34
	40	22.5	34.5	43.1	0.60	6.92	6.3	0.152	0.27
多肥	15	22.0	35.6	42.4	0.58	6.04	5.55	0.323	0.60
	25	22.3	36.6	41.1	0.59	6.47	5.9	0.237	0.50
	40	21.0	33.7	45.3	0.56	5.82	5.46	0.235	0.32

施肥量	作土層の深さ (cm)	陽イオン交換容量 (Cmol(+)/kg/kg)	交換性塩基 (g/kg)			石灰飽和度 (%)	塩基飽和度 (%)	全炭素 (g/kg)	全窒素 (g/kg)	C/N
			CaO	MgO	K ₂ O					
標準	15	44.0	6.81	1.33	0.68	55.3	73.5	54	4.5	12.1
	25	43.1	6.79	1.2	0.49	56.3	72.6	55	4.6	11.9
	40	41.9	6.81	1.24	0.83	58.0	75.2	49	4.1	12.2
多肥	15	42.9	4.56	0.79	0.73	38.0	51.2	53	4.6	11.6
	25	43.8	5.91	1.03	0.48	48.8	64.2	55	4.7	11.7
	40	40.1	3.89	0.62	0.71	34.6	44.8	51	4.3	11.7

表 5-5 作土層の深さと施肥量がキュウリの収量に及ぼす影響 (1996 年春作)

施肥量	作土層 の深さ (cm)	果実重			総本数 (本/m ²)
		(kg/ha)	指数	(g/本)	
標準	15	77,540	68	79.9	97.0
	25	93,240	82	88.0	106.0
	40	113,500	100	89.8	124.0
減肥	15	85,870	76	85.9	100.0
	25	91,580	81	84.4	108.5
	40	96,860	85	86.9	111.5

注) 指数は (kg/ha) について、40cm・標準施肥量区を 100 とした。
果実重は統計処理せず、指数で示した。

表 5-6 作土層の深さと施肥量がブロッコリーの収量に及ぼす影響 (1996 年秋作)

施肥量	作土層 の深さ (cm)	花 蕾			外葉・ 茎重 (kg/ha)	地上部重		最大 草丈 (cm)
		重(kg/ha)	指数	幅(cm)		(kg/ha)	指数	
標準	15	9,735b	91	12.4ab	61,166b	70,901bc	85	75.8b
	25	10,125ab	94	12.9a	60,874b	70,999bc	85	78.0ab
	40	10,744a	100	12.1ab	72,634ab	83,378ab	100	81.9a
多肥	15	11,546a	107	12.3ab	67,106ab	78,652b	94	76.3b
	25	11,299a	105	11.7b	62,625b	73,924b	89	76.3b
	40	11,393a	106	12.4ab	76,935a	88,328a	106	79.0ab

注) 花蕾は 15cm の長さで採取し、最大草丈は地表面から葉を上へ伸ばした先までの高さとした。
指数は 40cm・標準施肥量区を 100 とした。

列内で異なるアルファベットは Duncan's multiple range test により、5%水準で有意差ありを示す。

表5-7 作土層の深さと施肥量がキュウリ跡地の土壤理化学性に及ぼす影響(1992年秋作)

施肥量	作土層の深さ (cm)	三相分布(%)			仮比重 (g/ml)	pH		電気伝導度 (dS/m)	可給態リン酸 (g/kg)
		固相	液相	気相		H ₂ O	KCl		
標準	15	24.2	31.8	43.8	0.64	7.16	6.37	0.146	0.63
	25	23.3	34.3	42.4	0.62	7.12	6.36	0.125	0.48
	40	23.3	30.9	45.8	0.62	7.00	6.26	0.136	0.31
減肥	15	23.2	31.9	44.9	0.62	6.71	6.00	0.116	0.62
	25	22.2	33.8	44.0	0.58	6.69	5.99	0.142	0.51
	40	24.1	33.5	42.4	0.63	6.41	5.71	0.151	0.40

施肥量	作土層の深さ (cm)	陽イオン交換容量 (Cmol(+)/kg)	交換性塩基 (g/kg)			石灰飽和度 (%)	塩基飽和度 (%)	全炭素 (g/kg)	全窒素 (g/kg)	C/N
			CaO	MgO	K ₂ O					
標準	15	44.0	6.81	1.77	0.80	55.1	80.7	55	5.0	11.0
	25	44.5	6.44	1.52	0.60	51.6	71.6	53	4.8	11.1
	40	39.9	6.01	1.26	0.65	53.7	74.7	47	4.2	11.2
減肥	15	41.7	5.35	1.41	0.44	45.7	66.5	53	4.7	11.2
	25	40.7	4.50	1.08	0.41	39.5	57.1	52	4.7	11.0
	40	40.0	4.04	0.94	0.38	37.9	54.1	50	4.4	11.2

表5-8 作土層の深さと施肥量がブロッコリー跡地の土壤理化学性に及ぼす影響(1996年秋作)

施肥量	作土層の深さ (cm)	三相分布(%)			仮比重 (g/ml)	pH		電気伝導度 (dS/m)	可給態リン酸 (g/kg)
		固相	液相	気相		H ₂ O	KCl		
標準	15	22.1	28.5	49.4	0.59	6.41	5.77	0.661	1.10
	25	20.7	26.5	52.8	0.58	6.60	5.91	0.464	0.56
	40	20.9	26.7	52.4	0.53	6.54	5.90	0.643	0.62
減肥	15	21.0	21.9	57.1	0.57	6.41	5.69	0.451	0.90
	25	20.7	26.6	52.7	0.57	6.29	5.54	0.422	0.51
	40	21.2	23.5	55.3	0.57	5.85	5.17	0.472	0.59

施肥量	作土層の深さ (cm)	陽イオン交換容量 (Cmol(+)/kg)	交換性塩基 (g/kg)			石灰飽和度 (%)	塩基飽和度 (%)	全炭素 (g/kg)	全窒素 (g/kg)	C/N
			CaO	MgO	K ₂ O					
標準	15	48.6	5.52	1.50	0.95	40.5	60.2	54	4.9	11.0
	25	46.7	5.51	1.40	0.61	42.1	60.0	54	4.7	11.5
	40	43.5	4.65	1.52	0.64	38.1	58.7	49	4.1	12.0
減肥	15	46.8	4.61	1.61	0.51	35.1	54.2	53	4.6	11.5
	25	43.4	3.97	1.34	0.41	32.6	50.2	54	4.7	11.5
	40	41.0	3.66	0.97	0.42	31.9	46.0	51	4.3	11.9

． 総 括

東京都内における農業は、区部では住宅地やビルの中に小面積の農地が点在する状況であり、多摩地域では住宅と農地が混在したり、住宅地に隣接する形で存在する。したがって東京都における農地では、畑作や施設栽培が中心であり、野菜類や花卉・花木類が多くを占め、都市の中にあって、コマツナやシュンギク、ハウレンソウなど、日持ちの短い軟弱野菜や、ウドやツマミナのような嗜好性の高い作物が多い。経営規模は全国のレベルからみれば非常に小さいが、コマツナのように作付け回数を多くしたり、施設で比較的高価な花卉を栽培するなどの方法によって少ない耕地面積をカバーしながら生産を行い、田園的な緑地空間や緩衝機能を都市に提供する側面を持っている。

本研究は東京都内の黒ボク畑を対象とし、長期間にわたる営農活動が土壌の理化学性に及ぼす影響、有機物の長期連用が土壌の理化学性や作物収量に及ぼす影響、さらにはロータリー耕耘と作土層の深さが土壌と作物に与える影響などについて検討し、持続的な農業生産を図るための方策について考察したものである。

1．東京都における土壌の種類，特に黒ボク土壌の特性

東京都の土壌の種類は烏しょを除くと、主に畑地利用は黒ボク土と褐色森林土である。このうち黒ボク土は全農耕地の約 88 % で、畑地土壌に対しては約 93 % を占めている。また畑地利用の黒ボク土面積の約 71 % は表層多腐植質黒ボク土が占め、次いで厚層腐植質黒ボク土が約 18 % ，表層腐植質黒ボク土が約 8 % ，厚層多腐植質黒ボク土が約 2 % で、淡色黒ボク土は 1 % 以下である。

最も面積の多い表層多腐植質黒ボク土は区部から北多摩や西多摩、南多摩の台地上に広く分布しており、立地地形は大半が平坦地である。一般的な特徴として、有効土層は深く 1 m 以上あり、表層の土性は大部分の地点が埴壤土であるが、有機物が多いため壤土の性質を示す。土色は黒褐色で一部極暗褐色や暗褐色もみられる。これは腐植の色に由来するもので、表層には 10% 以上の腐植分を含む。下層

の土性は埴土で、土色は下方になるほど鮮やかな褐色をしている。腐植分は 7.5YR4/6 を示す部分では、2 ~ 3 % 前後である。礫は水の影響を受けた小円礫を場所によって含むが、通常深さ 1 m 以内に大きな礫はほとんどみられない。

この黒ボク土は全体的に仮比重や固相率が小さく、非常に軽い。有効水分は高く保水力がある反面、透水性や通気性もよい。表層土では有機物含量や陽イオン交換容量が高い。養分的な特性としては、もともと土壌中に塩基分が少なく、pH (H₂O) も 6 以下と低いものであった。リン酸吸収係数が表層土で 1,600 ~ 2,000 程度と強いこともあり、可給態リン酸はほとんど含まれていなかった。しかし農家及び農業指導機関の努力などにより、石灰質資材はじめ各種肥料の施用が十分に行われ、土壌 pH や可給態リン酸含量は、近年上昇傾向にある。一部の地点では蓄積もみられてきている。

2．最近15年間の営農活動の変動が黒ボク畑土壌の理化学性に及ぼす影響

東京都内全域の黒ボク土畑 80 定点の土壌調査および施肥実態調査を 1979 ~ 1982 年に 1 巡目、1984 ~ 1987 年に 2 巡目、1989 ~ 1992 年に 3 巡目、1994 ~ 1997 年に 4 巡目として実施した。これにより施肥状況および土壌の理化学的性質の推移を把握し、長期にわたる営農活動が黒ボク畑土壌の理化学性の変動に及ぼす影響について検討し、その結果を考察した。

東京都内の普通畑では、有機物施用は 1 年に 2 回以上または 2 種類以上施用している地点もあったが、その種類や施用量は地域によって異なっていた。種類としてもっとも多いのは、どの調査時点でも牛ふん堆肥であった。堆肥類全体の平均施用量は 1979 ~ 1982 年の調査では、10 a 当たり 1 度に約 2,200 kg 施用されていたが、その後やや減少しながらも 2,000 kg 以上が施用されていた。窒素、リン酸、カリの施用量は地域によって異なっていた。いずれも調査している期間では減少傾向にあった。

窒素肥料については、東京都内全域の平均的な施用量は施肥基準値と比較しても、特に高いものではなかった。しかし一部地点や作物の種類によっては過剰施用もみられた。

リン酸施肥に関しては、土壌中のリン酸含量が低い地点ほど、リン酸施肥量が少なく、高い地点ほど多かったが、全体的にはほぼ適正施肥量であった。土壌中の可給態リン酸値は多くが適正域であったが、そのほか不足域と過剰域の2つの地点がみられた。東京都内の黒ボク土中にはもともと可給態リン酸がほとんど含まれないので、土壌中の含有量の違いは施肥量の差と考えられた。

カリ肥料については、比較的全体的に適正施肥量であったが、一部地点では土壌中のカリ含量が高かった。これらの地点では牛ふん堆肥の施用量の多い例がみられたので、カリ分の供給源が化学肥料以外に堆肥類にも由来していることが推察された。カリ施肥量と土壌中のカリ含量でみた場合、今後は堆肥の成分量も考慮する必要があると考えられた。

石灰類の施用量は、地域差が大きく大量施用する地点も一部みられた。作物の種類による差も大きかった。しかし東京都内の平均的な石灰施用量は調査期間中では減少していた。土壌中の交換性石灰含量の分布では、適正域と過剰域近くの2つの地点がみられた。

作物の種類としては、果菜類類では三要素とも高い施用量であり、特にリン酸の施肥量が増加傾向にあった。根菜類や葉菜類の平均的な施肥量は比較的多くなかった。

土壌中の養分に関しては、カリやリン酸、交換性石灰などいくつかで過剰域の地点もみられるので、現在では減肥傾向にあるが、さらに環境保全型農業を推進するうえでも、土壌診断をきめこまかく実施して、適正施肥を推し進める必要があるといえる。

耕耘回数は大型機械化により増加傾向にあり、作土の深さも浅くなり、表層硬度も柔らかくなっていた。三相分布では、固相、液相が低下し、気相が増加していた。pHや全炭素などは大きな変化はなかった。

3. 有機物の長期連用が黒ボク畑土壌の理化学性と作物収量に及ぼす影響

長年にわたって黒ボク土畑に牛ふんパーク堆肥を連用した場合、土壌の理化学性や野菜の生育・収量について検討し、黒ボク土野菜畑における今後の土壌診断および土壌負荷の小さい施肥基準などにつ

いて考察した。

キャベツおよびダイコンの収量の21年間の推移をみると、化学肥料単用区は最高収量と最低収量の差がキャベツで約2倍、ダイコンで3倍の開きがあり、これは気象条件の影響が大きいことを意味しているものと思われる。堆肥の施用効果は両作物とも2作目以降で化学肥料単用区に比して10数%から30数%増収した。また堆肥を連用し続けても必ずしも化学肥料単用区との収量差が拡大するわけではなかったが、概して堆肥連用区は化学肥料単用区と比較して気象動態の影響が少なく、比較的安定な収量水準が維持される傾向が認められた。

土壌の物理的性質は、堆肥施用区と無施用区で液相や気相に差が現れ、堆肥施用区で増大する傾向が認められた。塩基類は各区同量施用しても、生育が良好な区ほど土壌中から塩基類がよく吸収された。堆肥施用区や化学肥料単用区では、塩基類の減少が激しく、反対に生育の悪い無窒素区では、徐々に蓄積していた。陽イオン交換容量は堆肥と熔リンの施用で高まり、特に熔リンを施用した区でより高くなった。また無窒素区でも、リン酸の増加とともに陽イオン交換容量が高くなっていった。全炭素や全窒素は毎年3t/10a堆肥を施用することで、変動は大きいものの上昇することが明確に示された。

4. 有機物施用とロータリー耕耘の組み合わせが黒ボク畑土壌の理化学性および作物収量に及ぼす影響

東京都農業試験場内(立川市)の表層腐植質黒ボク土(米神統)の圃場で、20年間にわたるロータリー耕耘が作土の理化学性と作物収量に及ぼす影響について、有機物の連用との関係で検討した。その結果、土壌中の全炭素と全窒素含量は有機物の施用で増加するが、ロータリー耕耘を行わない方がより増加した。化学肥料連用区では全炭素と全窒素含量について、耕耘の有無による差はほとんど認められなかった。土壌の有効水分含量は20年の間に全区とも漸減する方向にあり、特に化学肥料単用で耕起した場合にその傾向が大きかった。またpF1.5の気相率は全区とも漸増する傾向がみられた。しかし有機物の連用や耕耘の有無による区間差異は年数の経過とともに小さくなる傾向がみられた。耕耘によるpF

1.5 の気相率の差異がほとんどなく，土壌中の塩基類含量は有機物連用により増大したが，耕耘による。可給態リン酸は有機物の連用で増大するが，不耕耘区と比べ耕耘区は低く推移した。

有機物を連用してロータリー耕耘を行った場合には，キャベツとダイコンの収量は 20 年間のうち 17 回も最も高い収量を示すなど，大きな影響が認められた。また化学肥料単用でもロータリー耕耘をした方の収量は高かった。しかしロータリー耕耘では耕盤の形成がみられており，特に化学肥料だけでその傾向が強かった。したがって 20 年間の人為的なインパクトを与えるような営農活動としては，キャベツやダイコンの収量を低下させるような大きな影響はなかったが，耕盤が形成されないような土壌管理が望ましく，それには有機物の施用は重要であることが指摘できる。

5. 黒ボク土畑における作土層の深さが土壌の理化学性および作物収量に及ぼす影響

作土層の深さ (15 cm, 25 cm, 40 cm) と東京都の標準施肥量，多肥 (1.5 倍量) との組み合わせで収量を比較すると，ブロッコリー花蕾重では 40 cm の標準施肥区，多肥区で大きく，15 cm や 20 cm の作土層が浅い区では，40 cm 区に比べて収量は少なかった。コマツナでは 40 cm の標準区施肥で最も大きかった。この土壌の理化学性について検討したところ，ブロッコリー跡地土壌の仮比重が多肥で高い傾向にあった。多肥区では交換性石灰と交換性苦土の溶脱が大きく，pH も低下した。電気伝導度は多肥区が高かった。可給態リン酸含量は標準施肥，多肥区とも作土層の深いほど低下した。したがって 15 cm や 25 cm 区では標準区の施肥量でも多い可能性が認められた。

次に，作土層の深さと標準施肥・減肥 (0.8 倍量) との組み合わせが収量と土壌に及ぼす影響について検討した結果，キュウリは作土層の浅い 15 cm 区では減肥が有効であったが，40 cm 区では標準区の収量が最も大きかった。ブロッコリー花蕾重は減肥区と 40 cm の標準区の収量には差がなく，浅い作土層の状態で継続して栽培を行う場合には，時期をみて減肥した方が増収につながっていた。こうした土壌の理化学性については，電気伝導度はキュウリ栽培

跡地土壌では特に大きな差はなかったが，ブロッコリーでは明らかに減肥区で低かった。pH や可給態リン酸，塩基類は作土層が浅いほど高い傾向にあった。減肥区では可給態リン酸や塩基類は低くなっていたが，標準施肥では蓄積傾向にあった。

本論文で取り上げた研究，検討を行った事項に対するこれまでの知見についてみると，このような土壌の状態を把握するため，あるいは化学肥料が多くなったことに対して，さらに地力を回復・維持させるための方策や，堆肥を短期あるいは長期に用いることによる土壌や作物への影響を調べるための試験・研究も全国的に多く実施されてきている。

堆肥をはじめ有機物類の特性や施用に関する研究事例は多い (兵庫県中央農技ら，1989；近畿中国農業試験研究推進会議，1989；二見，1990；吉倉ら，1988)。中でもとくに長期連用に関しては多くの研究例がみられるが，堆肥類の長期連用と土壌腐植との関係の研究 (川口ら，1968；川口・坂上，1969；北川，1983；弘法・和田，1964)，土壌微生物バイオマス量や可給態窒素量・中性糖組成への影響に関する試験 (村田ら，1997)，豚ふん尿が土壌の理化学性と重金属含量 (安西ら，1987)，あるいは土壌物理性に及ぼす影響 (安西，1988)，堆肥連用水田の土壌無機化窒素発現量と土壌等由来窒素の水稻吸収量の推移に関する研究 (高橋ら，1992)，連用水田での窒素の動態 (農水省農産園芸局・土肥学会，1991；小川ら，1995)，厩肥連用が土壌の *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* の生育への研究 (木村ら，1990・1991)，など必ずしも作物生育との関係だけでなく，広い分野での研究が実施されている。中でも土壌や作物に対する影響を考慮した畑地での堆肥の連用試験に関しては，1950 年代から 60 年代にかけて，全国の多くの試験場で米麦や飼料作物を対象として，肥料三要素や肥料四要素を組み合わせ，堆肥の施用に関する試験が盛んに行われてきた (農林水産技術会議事務局，1977；橋本・石川，1969；金森，2000)。さらに野菜類に対する堆肥連用試験に関しては，1970 年代頃から農林水産省の土壌保全調査事業を中心に，各都道府県農業試験場や国立の試験場などで，水稻と並んで実施されるようになり，埼玉県 (六本木ら，1992a, 1992b, 1993) や長野県 (松下ら，1979, 1989；三木・出井，1966；三木・森，1966)，愛知県 (井上

ら,1996),兵庫県(大塩ら,2000),滋賀県(中田,1980;大橋・岡本,1985),九州地方(宮沢ら,1990;九州農政局,1997)などに関して多くの文献がみられる。

土壌調査に関しては,全国的には1968年から20年をかけて実施された農林水産省の地力保全調査事業,それに続く土壌環境基礎調査を中心に,都道府県農業試験場によって全国の主要な土壌について,その実態を把握するとともに,時間の経過に従って土壌の理化学性がどのように変化するかを知り,今後の土壌管理対策や土地利用方法などを明らかにしている(土壌保全調査事業全国協議会,1991)。土壌保全調査事業は全国の都道府県試験場で同時に,自県内の農耕地土壌を対象にほぼ同じ実施要領で実施されている。全国的な取りまとめについては,農林水産省が行っており,特に有機物・肥料の連用試験については,農業研究センターの土壌肥料部で行なっている。これまで全国で行なわれてきた有機質資材等の連用試験や三要素試験,あるいは,長期圃場試験についてはあまり多くないことが報告されている(金森,2000)。この中で,全国に所在する長期継続圃場試験の内容の概要としては,適品種選定試験,播種期試験,栽植様式試験,施肥法試験,耕起法試験,有機物利用試験などであり,5年以上継続して圃場試験を実施している地点数は,国立試験研究機関39点,公立試験研究機関約200点とされている。このうち畑地を対象とした試験は約80点ほどで,有機物連用試験は70点ほどとなる。平成10年時点で21年を超える有機物関連の長期圃場試験は24点,さらに,30年を超える畑地での長期圃場試験は,三要素試験を含めても全国で8地点しか存在しないことが報告されている。金森の報告によると,わが国の畑地での長期の圃場試験は,青森県における63年間(平成11年まで)がもっとも長いとされている。畑地での長期圃場試験では単に有機物の施用だけでなく,連輪作や三要素,石灰資材などを組み合わせて行なわれており,作物も小麦やバレイショ,大豆,トウモロコシなどの作物のほか,レタスやハクサイなどの作物がみられる(松下ら,1979,1989)。

耕起方法は土壌の耕度や耕盤,保水力,透水性などの物理性および作物生産などに影響を与える要因の一つである。それらに関連した既往の研究では,

不耕起栽培やロータリー耕耘に関する報告が水稻,陸稲や麦を対象に多くみられる。たとえば不耕起乾田直播栽培における水稻の生育特性(小出,1997),水稻の不耕起乾田直播栽培における施肥方法や施肥効率に関する研究(濱田,1995),稲麦連続不耕起乾田直播栽培における水稻期間中の成分の動態(今井,1995),耕起法が酒米の生産に及ぼす影響(二見,1988),不耕起直播栽培水稻の根活力分布(二見,1990),水稻の不耕起機械移植栽培(早坂,1989),低湿重粘土水田における水稻不耕起栽培(金田,1992;金田ら,1992;金田,1997),水稻不耕起栽培での土壌肥料学的研究(野々山,1981),水稻不耕起栽培におけるペースト肥料の肥効と窒素吸収特性(高橋,1993)などがみられる。水稻以外では,小麦や甘藷を対象とした鉋質畑での耕起の違いが生産力に及ぼす影響(高橋,1971),大豆と麦の連続不耕起栽培での直播法や施肥法などが生育や収量に及ぼす影響(岩井ら,1996),大豆の不耕起栽培に関する研究(濱田,1990)などがみられる。しかし都市近郊の黒ボク畑での野菜に関する耕起法などに関する研究例はほとんどみられない。

6. まとめ

農作物の生産力をもっとも高めるための施肥量,いわば目先の農業生産のための適正施肥量と,土壌や地下水,大気などの環境に負担をかけないための適正施用量との間には少なからず相違があると考えられる。土壌中の硝酸過剰や河川,湖沼でのリン酸等による富栄養化を招かないためには,一時的な農作物の増収のための多肥を避けねばならないと考えられる。生産だけを優先しての化学肥料を中心とした肥料分の多施用は,長期的にみた場合には環境の悪化を招くことが考えられる。そして,環境の悪化は農業生産にとってもよいことはなく,減収や品質の低下に結びつくことが懸念される。

環境に対する影響としては,化学肥料以外に有機質肥料や堆肥でも同様に考慮されなければならないものである。有機質類のうち特に堆肥は土壌の理化学性や微生物性を高め,土づくりや作物のためには欠かすことができない。しかし,堆肥といえども過剰施用は環境の悪化を招くことになる。堆肥に関しては中に含まれる成分量をほとんど考慮せずに施用

される場合が多い。窒素やリン酸、カリといった成分の少ない落ち葉やわらなどの植物質堆肥では多少施用量が多くても多量の成分が土壌中に混入しにくい。豚ふんや鶏ふんを原料とした家畜ふん堆肥では肥料成分も多く、多量の施用は過剰や蓄積を起こしやすい。これまでは、いかにたくさん堆肥を施用するかについて努力をしてきたが、今後は堆肥中の成分量を計算し、土壌の種類ごとに上限施用量を設定していかなければならないと考えられる。さらに、堆肥と肥料を含めて総量としてどれだけの肥料成分が投入可能であるかの基準作りが重要となる。

耕耘方法も肥料や堆肥、あるいは、環境と密接な関係がある。耕耘の方法や回数などによって土壌の物理性は大きく変化し、さらにそれが同じ施肥を行っても土壌への影響の仕方や土壌環境への影響が異なってくる。例えば、過度の耕耘で緻密なすき床層ができ、しかも作土が浅くなると、作土が深く緻密層がない場合と比較して、同じ量の肥料を施用しても土壌における肥料成分濃度が濃くなり、土壌が受け入れて処理できる能力を超えることになり、結果的に利用されずに環境中に出て行く可能性がある。そのため適正な耕耘が環境にとっても重要であることが指摘できる。

農薬についても、肥料や堆肥の施用によっては影響を受けることが考えられる。適正な堆肥施用や施肥によって地力の向上が図られ、健全な農作物も生産することができる。良好に生育すれば病害にも強くなり、さらに、輪作体系を導入して土壌の健全化を実施すれば、土壌微生物の単相化や病原菌の繁殖を抑えることも可能である。それにより、農薬散布回数や散布濃度を低くすることができ、土壌をはじめとする環境への負荷を小さくできると考えられる。農業生産においては、このような農薬低減のための技術も今後さらに進めていくことが重要である。農業生産を未来にわたって安定的に行うためには、環境に配慮しながら営農を行っていかねばならないと考えられる。

土壌管理などが土壌の理化学性に及ぼす影響に関しては多くの研究が報告されているが、いずれもその期間が短いものが多い。しかし持続的な農業生産を図るうえにおいては、長期間でしかも現地における営農レベルでの施肥・土壌管理がその土壌の理

化学的な性質や作物収量に及ぼす影響を計測・検討することが必要で、それを基礎とした営農体系を構築することが重要である。

そこで本研究は、都市近郊農業という高度な集約農業形態を対象として、20年間という長期間にわたる施肥・土壌管理などの営農活動を通して、それが黒ボク土の理化学性や作物生産性に及ぼす影響について土壌肥料学および栽培学・園芸学的な検討を行った。

その結果、土壌の理化学性は営農活動によって大きく変化することが明確となった。物理的性質は農業機械を用いた耕耘作業などによって作土層の気相が増加し、作土層の浅層化をもたらしていた。土壌養分的には、調査の初期段階では土壌中の養分含量は少なかったが、営農活動にともなって徐々に増加した。その含量の地点分布をみると、大部分は適正範囲には入り、行政的な営農指導が重要であることを裏付けていた。一部地点では養分含量が低レベルのまま推移する一方、リン酸やカリなどの過剰が問題となる地点も存在した。特に、リン酸に関しては、黒ボク土は施肥したリン酸を固定する力が強いいため、土壌中の可給態リン酸含有量が乾物土壌 1 kgあたり 100~200 mg 以下の場合には、少量の施用ですぐに土壌に吸着固定され、農作物に利用できない形になる。しかし、400~500 mg を超えると徐々に土壌中に利用できる形のまま蓄積されるようになる。そのため、常に土壌中の含有量を監視し、以前と同じ施用量でも蓄積が始まるようであれば、減肥が必要となってくる。持続的な営農活動を行う上において、土壌状態を常時把握することは、農業生産面だけでなく環境にとっても重要なことであることが示唆された。

また堆肥類については、家畜ふん類から植物質まで幅広く利用されており、施用量も適量範囲が多いことはもちろんであるが、施用効果を期待するには施肥量が不足する場合や、逆に過剰のリスクが懸念される量までがみられた。リン酸肥料やカリ肥料の施用量は比較的適正であったことから、土壌中でリン酸やカリ含量が高い地点では堆肥からの供給によって富化されていることが明らかとなった。このようにして得られたこれらの知見から、土壌診断などの土壌監視体制を確立し、養分の蓄積に留意すると

ともに、耕耘回数や耕耘深度などの耕耘方法を営農活動を通して検討したり、堆肥の種類や施用量にも考慮した施肥基準値の設定が重要であることなどが指摘できた。現在の施肥基準では、堆肥中の成分量については無視して一律の施用量が設定されているが、今後はこれらの成分についても考慮した基準値の設定が必要となろう。また施肥基準の設定に当たっては、農業生産を中心とすることはもちろんであるが、同時に土壌や地下水、あるいは空気中への飛散など環境にも配慮することが必要である。現在、環境系外から各種肥料分などが与えられた場合、東京都内では成分ごとに土壌が受け入れることができる量がいくらであるか、土壌の種類ごとに正確には把握されていない。今後は土壌が受け入れて無理なく処理することができる量、すなわち環境容量についても考慮しながら、施肥基準の設定を行っていくことが重要である。腐植質の黒ボク土では下層土まで塩基分が含まれているため、地力は十分に良好な土壌であるが、反面、肥料成分を多量に施用した場合は蓄積する可能性もあると考えられる。また天地返しなどにより表層にたまった肥料成分を薄めることもし難い面を持つ。そのため将来にわたって蓄積を招かないようにするには、環境への負荷も考慮しつつ、施肥基準などを見直し減肥をはかっていくことが不可欠となる。しかし、単に減肥をただけでは十分な農業生産を得ることができなくなる可能性もある。その対策として、栽培期間の短いコマツナなどでは1回施肥2作採りを取り入れたり、果菜類など長期栽培作物では、リアルタイム土壌診断で施肥管理を行うことが必要となる。そのほか、最も適切な施肥位置や施肥時期を明らかにするための施肥方法の検討、あるいは緩効性肥料の利用なども有効な手段になると考えられる。

本研究の成果は、東京のような都市近郊の集約農業において、狭い土地を効率よく利用し、持続的な農業生産を維持するための基礎的な知見を提供するとともに、今後の東京都の農業ならびに黒ボク土畑の農業の持続的発展に寄与し得るものであると考える。

摘 要

1. 東京都内における長期間の営農活動が黒ボク畑土壌の理化学性の変動に及ぼす影響

本研究は、長期にわたる営農活動が農耕地の理化学性の変動に及ぼす影響について考察し、持続的な農業生産のための基礎的知見を得ることを目的とした。

(1) 都内農耕地における肥料の施用と土壌管理状況の変動

窒素の施用量は一部を除き、大半の地点は過剰ではなかった。リン酸の施用量は、大半がほぼ適正であったが、リン酸が少ない地点ほど施用量が少なく、多い地点ほど多い傾向もみられた。カリの施用量は全体的には多い量ではなかったが、過剰地点もあり、給源が堆肥などに由来していた。石灰類の施用量は土壌中の状態に合わせて施用しているため、全体的にバラツキがあった。

都内の農耕地では、堆肥施用は1年間に2回以上または2種類以上施用している地点もあったが、種類や施用量は地域で大分異なり、主に牛ふんが1回平均約2tで、その後は少なくなっていた。石灰の施用量は年間および1作ごとに減少傾向にあった。窒素、リン酸、カリの施用量は地域的に異なっていたが、いずれも減少傾向にあった。窒素肥料は過剰に施用されていなかったが、果菜類では三要素とも高い施用量であり、特にリン酸の施用量が増加傾向にあった。耕耘回数は大型機械化により増加傾向にあり、作土の深さも浅くなり、作土の表層硬度も柔らかくなっていた。

(2) 15年間にわたる都内黒ボク畑土壌の理化学性の変動

可給態リン酸値は施用量の差異により適正域(200~700 mg/kg乾土)のほか、不足域(100 mg/kg乾土以下)と過剰域(1000 mg/kg乾土以上)がみられた。交換性カリはほぼ適正域(200~800 mg/kg乾土)であった。交換性石灰含量では、適正域(3~8g/kg乾土)と過剰域(10g/kg乾土以上)がみられた。また1巡目から3巡目の土壌中の可給態リン酸の変化は上昇傾向が見られた。三相分布では、固相、液相が低下し、気相が増加していた。pHや全炭素などは大きな変化がなかった。また塩基類やリン酸はや

や増加の傾向にあったが、ほぼ適切な数値であった。陽イオン交換容量は変動していた。

2. 堆肥の長期連用が黒ボク土の理化学性と作物収量に及ぼす影響

本実験は東京都内における腐植質黒ボク土畑に牛ふんバーク堆肥を長年にわたって連用した場合、土壌の理化学性やキャベツおよびダイコンの生育・収穫量などに与える影響について検討し、東京都内における今後の土壌診断および土壌負荷の小さい施肥基準などの基礎知見を得るために調査した。

両種の収穫量は、その年の気象条件に大きく作用され、変動していた。化学肥料単用区の21年間の最高収穫量と最低収穫量はキャベツの結球で約2倍、ダイコンの根で3倍以上の開きがあった。堆肥施用の効果はキャベツの1作目ではなかったが、その後は10数%から30数%増収した。しかし、堆肥の長年にわたる施用でも化学肥料単用区との差が大きく開くことはなかった。この傾向はダイコンの根でもみられた。リン酸増施の効果は、土壌中に一定量のリン酸が存在すれば、黒ボク土でも悪影響は現れなかった。

土壌の物理性では、堆肥の施用区と無施用区で、固相の差が広がる傾向にあった。塩基類は同量施用しても、吸収のよい区で減少が激しく、生育の悪い無窒素区では徐々に蓄積していた。陽イオン交換容量は堆肥と熔リン施用で高まっていた。無窒素区でもリン酸の増加により、陽イオン交換容量が高くなった。全炭素や全窒素は毎年3 t/10a づつの堆肥施用で変動しながらも上昇した。

3. 堆肥施用とロータリー耕耘の組み合わせが黒ボク土の理化学性及び作物収量に及ぼす影響

東京都農業試験場内（立川市）の表層腐植質黒ボク土（米神統）の圃場で、20年間にわたるロータリー耕耘が作土の理化学性と作物収量に及ぼす影響について堆肥の連用との関係で検討した。この結果、土壌中の全炭素・全窒素含量は堆肥の施用で増加するが、耕起の方がその増加量は小さかった。化学肥料の連用区では、耕耘の有無による差は認められなかった。土壌の有効水分含量は20年間の間に全区とも漸減する方向にあり、特に化学肥料だけで耕起し

た場合もその傾向が強かった。またpF 1.5の気相率は全区とも漸増する傾向がみられた。しかし、堆肥の連用や耕耘の有無による区間差異は年数の経過とともに、小さくなる傾向がみられた。土壌の無機養分含量は、耕耘による差異がほとんどなく、堆肥連用した区で顕著に増大した。全窒素と同様に可給態リン酸は堆肥の連用で増大するが、不耕耘と比べ、耕耘区はそれよりも低く推移した。

キャベツとダイコンの収量の推移には、ロータリー耕耘の影響は少なく、堆肥を連用し、ロータリー耕耘を行った方が20年間のうち、17回も最も高い収量を示しており高くなった。また、化学肥料だけでもロータリー耕耘をした方の収量は高かった。収量だけからみれば、ロータリー耕耘によって生産力が低下したとはいえなかった。

しかし、ロータリー耕耘によって、耕盤の形成がみられており、特に化学肥料だけでその傾向が強かった。したがって、20年間の人為的な営農インパクトでは、キャベツやダイコンの収量に影響はなかったが、耕盤が形成されないような土壌管理が望ましく、それには堆肥の施用は重要であると指摘できる。

4. 黒ボク畑土壌における作土層の深さが土壌の理化学性と作物収量に及ぼす影響

(1) 作土層の深さと標準施肥・多肥との組み合わせが作物収量と土壌の理化学性に及ぼす影響

ブロッコリー花蕾重では、耕耘深度が浅くなるほど収量が減少した。東京都の標準施肥量の区と1.5倍区との間で作物生産を比較すると、1.5倍区でブロッコリー花蕾重の収量が減少する傾向がみられた。40cm区で特に減少程度が大きく有意差がみられた。コマツナでは、40cm・標準施肥区で収量が大きかった。多肥では交換性石灰と交換性苦土の溶脱が大きく、pHも低下した。電気伝導度は多肥で高かった。可給態リン酸は標準施肥・多肥とも作土層の深いほど含有量は低下した。15cm・25cm区では標準施肥区の施肥量でも多い可能性が認められた。

(2) 作土層の深さと標準施肥・減肥との組み合わせが作物収量と土壌に及ぼす影響

キュウリでは、作土層の浅い15cm区では減肥が有効であったが、40cm区は標準施肥で収量が増大した。ブロッコリー花蕾重では、減肥した3区と

40cm・標準施肥区の収量には差がなく、浅い作土層の状態でも継続して栽培を行う場合には、時期をみて減肥した方が増収につながる事が示唆された。電気伝導度はキュウリの区では、特に大きな差はなかったが、プロッコリーの区では、明らかに減肥区で低くなった。pHや可給態リン酸、塩基分は作土層が浅いほど高い傾向にあった。減肥区では、可給態リン酸や塩基分は低くなっていたが、標準施肥では蓄積傾向にあった。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、終始ご懇篤なご指導とご教示を賜るとともに、本論文のご校閲をいただきました日本大学教授 米田和夫博士に謹んで感謝の意を表します。

また、本論文まとめるにあたり、大変に有益なご助言とご校閲を賜りました日本大学教授 矢崎仁也博士、同教授 山本一彦博士、同教授 河野英一博士、同教授 長谷川 功博士、同教授 福原敏彦博士に深く御礼申し上げます。

また、貴重なご意見や資料の提出をいただきました東京都農業試験場、東京都農林水産部、東京都農業改良普及センター、東京都肥飼料検査所、農林水産省農業研究センター、農林水産省関東農政局、東京農工大学の関係各所担当者の方々および諸先生方には厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 安藤 豊・小南 力・藤井弘志・岡田佳菜子(1998) 不耕紀移植水稻の初期生育と登熟期の特徴について。土肥誌 69: 618-625。
- 安西徹郎・松本直治(1987) 豚尿の10年連用が深さ別の水田土壌の理化学性および重金属含量に及ぼす影響。土肥誌 58: 433-439。
- 安西徹郎(1988) 豚尿連用が土壌の物理、特に地耐力および土壌構造に及ぼす影響。土肥誌 59: 178-181。
- 青山正和(1992a) 堆きゅう肥の連用に伴って土壌粒径画分へ集積する有機物とその窒素無機化。土肥誌 63: 161-168。
- 青山正和(1992b) きゅう肥連用土壌の粒径画分および団粒サイズ画分の有機物とその無機化。土肥誌 63: 571-580。
- 東 俊雄(1986) 有機炭素。土壌標準分析・測定法。日本土壌肥料学会監修。土壌標準分析・測定法委員会編。博友社、東京。pp.77-85。
- 伊達 昇(1986a) pH, 土壌標準分析・測定法。日本土壌肥料学会監修。土壌標準分析・測定法委員会編。博友社、東京。pp.70-71。
- 伊達 昇(1986b) 電気伝導率(EC)。土壌標準分析・測定法。日本土壌肥料学会監修。土壌標準分析・測定法委員会編。博友社、東京。pp.74-76。
- 土壌物理性測定法委員会(1972) 土壌物理性分析法。養賢堂、東京。pp.1-24, 24-52, 134-159。
- 土壌保全調査事業全国協議会(1991) 日本の耕地土壌の実態と対策。博友社、東京。pp.36-55。
- 土壌標準分析・測定法委員会(1986) 日本土壌肥料学会監修土壌標準分析・測定法。博友社、東京。pp.5-6, 8-10, 10-14, 28-35, 36-54, 70-71, 74-76, 77-85, 127-130, 150-154, 155-160。
- 土壌養分測定法委員会編(1970) 土壌養分分析法。養賢堂、東京。pp.29-32, 33-52, 139-147, 225-251, 258-277, 281-296。
- 藤沼善亮・木下彰・橋田茂和(1970) 塩類濃度。土壌養分分析法。土壌養分測定法委員会編。養賢堂、東京。pp.45-50。
- 二見敬三・西田清数・五百蔵義弘・山根国男(1988) 耕起法と有機質資材の種類が酒米水稻「山田錦」の生産性に及ぼす影響。近畿中国農研 75: 29-34。
- 二見敬三(1990) 野菜安定生産のための有機質資材の複合的利用技術。平成元年度新技術-近畿中国地域における。pp.32-41。
- 二見敬三・渋谷政夫(1990) 不耕起直播栽培水稻の根活力分布。土肥誌 61: 406-407。
- 濱田千裕・野々山利博・釋 一郎・小島 元・澤田恭彦・宮下陽里(1990) ダイズの不耕起栽培に関する研究(第1報) 雑草防除法。愛知県総試研報 22: 85-92。
- 濱田千裕・井澤敏彦・林 元樹・中嶋泰則(1995) 水稻の不耕起乾田直播栽培における施肥方法および施肥効率に関する研究。愛知農総試研報 27: 49-54。
- 羽生友治(1995) 被覆肥料の特長と野菜への利用。平7園学秋季大会シンポ講要。pp.44-59。
- 橋本秀教・石川 実(1969) 堆厩肥の成分組成関する

- 研究(第2報). 大麦の生育・収量との関係, 土肥誌 40: 309-314.
- 早坂 剛・上林儀徳・長谷川正俊(1989) 水稻の不耕起機械移植栽培. 日作東北支部報 32: 8-11.
- 広木幹也・久保井 徹(1987) 汚泥連用土壌における pF 水分曲線の経時変化. 土肥誌 58: 237-239.
- 保科次雄(1995) 環境保全的施肥技術, 野菜. 農林水産技術会議事務局編. 農林水産研究文献解題 21. 環境保全型農業技術. 農林統計協会, 東京. pp.230-238.
- 兵庫県中央農技・奈良農試・和歌山農試(1989) 有機物資材の複合的利用による畑利用水田野菜生産安定技術の確立. pp.1-111
- 今川正弘・河合伸二・木下忠孝・真弓洋一・大嶋秀雄(1989) 鈹質土壌における炭素の蓄積とその効果. 愛知農総試研報 21: 281-288.
- 今井克彦・池田彰弘亦・林 元樹(1995) 稲麦連続不耕起乾田直播栽培ほ場における水稻作期間中の無機成分の動態及び窒素肥沃度. 愛知農総試研報 27: 61-68.
- 稲松勝子・渋谷加代子(1991) クワに対する稲わら堆肥連用効果の一解析. 土肥誌 62: 59-63.
- 井上恒久・今川正弘・西脇謙二・白井一則(1996) 稲わら堆肥連用鈹質畑土壌における露地野菜の養分吸収と無化学肥料栽培. 愛知農総研報 28: 157-164.
- 岩井正志・須藤健一・京 啓一・宮本 誠・米谷 正(1996) 大豆・麦連続不耕起栽培における播種量・施肥法ならびに除草剤処理が生育, 収量に及ぼす影響. 兵庫農技研報(農業) 44: 9-14.
- 岩田進午(1972) 土壌水分・土壌物理性測定法委員会編. 土壌物理性測定法. 養賢堂, 東京. pp.47-52.
- 鎌田春海(1986a) 陽イオン交換容量(CEC). 土壌標準分析・測定法. 日本土壌肥料学会監修. 土壌標準分析・測定法委員会編. 博友社, 東京. pp.150-154.
- 鎌田春海(1986b) 陽イオン(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+). 土壌標準分析・測定法. 日本土壌肥料学会監修. 土壌標準分析・測定法委員会編. 博友社, 東京. pp.155-160.
- 金森哲夫(2000) 国公立試験研究機関における有機物・肥料等の長期連用試験の現状について. 土肥誌 71: 286-293
- 金田吉弘(1992) 低湿重粘土汎用水田における水稻の不耕起および部分耕移植栽培. 農業技術 47:215-219.
- 金田吉弘・栗崎弘利・山谷正治(1992) 低湿重粘土水田における汎用化のための下層土の管理(第4報) 不耕起移植水田における表面施用わらがメタン生成と水稻生育に及ぼす影響. 東北農業研究 45: 77-78.
- 金田吉弘(1997) 多様な水稻栽培方式における水田土壌肥料の現状と方向. 3. 不耕起栽培における土壌・施肥管理. 土肥誌 68: 69-74.
- 関東ローム研究グループ(1986) 関東ローム, その起源と性状. 築地書館, 東京. pp.37-47, 235-259.
- 香西清弘・平木孝典(1997) 水稻・タマネギ作付体系における牛ふん・オガクズ堆肥連用による土壌の化学性の改善. 平成8年度研究成果情報(四国農業). pp.42-43.
- 糠谷 明(1995) 養液栽培と環境問題. 平7園学秋季大会シンポジウム講演要旨. pp.31-43.
- 加藤哲郎・長谷川 功・米田和夫(2000) 長期間にわたる有機物施用およびロータリー耕転の有無が作土の理化学性ならびに作物収量に及ぼす影響. 土壌の物理性 83: 29-40.
- 加藤哲郎・米田和夫(2000) 有機性用土の理化学的特性の解析と用途について. 開発学研究 11: 63-71.
- 加藤哲郎・米田和夫(2001a) 黒ボク土における作土層の深さが作物収量と土壌の理化学性に及ぼす影響. 土壌の物理性. 印刷中.
- 加藤哲郎・米田和夫(2001b) 堆肥の長期連用が黒ボク土の理化学性ならびにキャベツとダイコンの収量に及ぼす影響. 土壌の物理性. 印刷中.
- 川口菊雄・坂上 朗・橋本重久(1968) 水田土壌における腐植ならびに動態に関する研究(第1報), 石灰および堆肥連用土壌の腐植の形態について. 土肥誌 39: 363-369.
- 川口菊雄・坂上 朗(1969) 水田土壌における腐植ならびに動態に関する研究(第2報), 数種の土壌における石灰, 堆肥連用土壌の腐植の形態. 土肥誌 40: 221-227.
- 木村真人・豊田剛己・鍬塚昭三(1990) 化学肥料およびきゅう肥連用土壌における *Fusarium oxysporum* f.sp. *raphani* の生育. 土肥誌 61, 586-591
- 木村真人・豊田剛己・鍬塚昭三(1990) きゅう肥連用土壌の *Fusarium oxysporum* f.sp. *raphani* 抑制機構. 土肥誌 62: 14-20
- 近畿中国農業試験研究推進会議事務局編(1989) 昭和63年度近畿中国地域「地域重要新技術」成果報告.

- pp.1~56
- 北川靖夫(1983)淡色黒ボク土畑への堆肥連年施用に伴う腐植および非晶質無機成分の変化.土肥誌54:50-52.
- 弘法健三・和田秀徳(1964)堆肥の施用が土壌の腐植形態に及ぼす影響(第2報).土壌の弗化ナトリウム浸出物について(その2).土肥誌35:53-56.
- 小出俊則・高松美智則・伊藤幸司・吉田朋史(1997)不耕起乾田直播栽培における水稻の生育特性.愛知農総試研報29:27-32.
- 蔵本正義・小菅備郎・高橋和司(1970a)塩基置換容量・全置換性塩基・塩基飽和度.土壤養分分析法.土壤養分測定法委員会編.養賢堂,東京.pp.33~44.
- 蔵本正義・小菅伸郎・高橋和司・横田志朗(1970b)カルシウム・マグネシウム.土壤養分分析法.土壤養分測定法委員会編.養賢堂,東京.pp.281~296.
- 九州農政局(1997)九州・沖縄地方における基準点調査中間とりまとめ-有機物長期連用が作物と土壌に与える影響.pp.229.
- 前田乾一(1986a)水分.土壤標準分析・測定法.日本土壤肥料学会監修.土壤標準分析・測定法委員会編.博友社,東京.pp.8-10.
- 前田乾一(1986b)三相分布・容積重.土壤標準分析・測定法.日本土壤肥料学会監修.土壤標準分析・測定法委員会編.博友社,東京.pp.10-14.
- 松田幹男・堀江正樹・本田勝雄・志村英二(1980)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.
- 松丸恒夫・米山忠克・松岡義浩(1989)トマトおよびコムギを用いた窒素過剰障害の発生機作の解明.土肥誌60:391-398.
- 松下利定・中村伴蔵・小松憲一・鎌田喜孝(1979)火山灰畑土壌における有機質・無機質肥料連用に関する研究(とうもろこしの生育・収量ならびに土壌の理化学性におよぼす影響について).長野中信試報1:98-207
- 松下利定・中村伴蔵・小松憲一・鎌田嘉孝・長谷川 徹(1989)火山灰畑土壌における有機質・無機質肥料連用に関する研究(第2報).各種野菜の生育・収量におよぼす影響.長野中信試報7:67-91.
- 三木和夫・出井嘉光(1966)鉍質畑の地力に対する有機物の役割とその補給様式に関する研究(第1報).有機物補給期間中の作物の生育・収量と窒素吸収量.長野中信試報15:100-111.
- 三木和夫・森 哲郎(1966)鉍質畑の地力に対する有機物の役割とその補給様式に関する研究(第2報).有機物施用跡地の土壌の理化学性の変化について.長野中信試報15:112-124.
- 三須 昇・宮里 恵(1970)カリウム.土壤養分分析法.土壤養分測定法委員会編.養賢堂,東京.pp.258-277.
- 宮沢数雄・塩崎尚郎・伊東祐二郎・林田至人(1990)西南暖地の多腐植質黒ボク土における完熟きゅう肥連用基準と施肥改善.九州農業試験場報告26:187-222.
- 門馬信二(1995)野菜類の少肥適合性育種と今段の課題.平7園学秋季大会シンポジウム講演要旨.pp.78-89.
- 森 信行・嶋田永生(1970)酸度.土壤養分分析法.土壤養分測定法委員会編.養賢堂,東京.pp.29-32.
- 村田智吉・田中治夫・坂上寛一・安積大治・浜田竜之介(1997)麦かん・堆肥の連用が土壌微生物バイオマス量・可給態窒素量および中性糖組成に及ぼす影響.土肥誌68:249-256.
- 中田 均(1980)肥料三要素および堆肥の長期連用が土壌生産力におよぼす影響の数理統計的解析.滋賀県農試特別研究報告13:1-108.
- 南條正巳(1986)可給態りん酸.土壤標準分析・測定法.日本土壤肥料学会監修.土壤標準分析・測定法委員会編.博友社,東京.pp.127-130.
- 荷見武敬(1991)有機農業にかける.日本経済評論社,東京.
- 野々山芳夫(1981)水稻の不耕起直播栽培に関する土壌肥料学的研究.中国農業試験場報告E18:1-62.
- 農林水産技術会議事務局(1977)火山灰土における堆肥及び厩肥の長期連用効果に関する研究.研究成果95:142.
- 農水省農産園芸局農産課(1979)日本の耕地土壌の実態と対策.土壤保全調査事業全国協議会.東京.pp.36-55,75-96.
- 農林水産省農産園芸局農産課(1980)土壌改良と資材.土壤保全調査事業全国協議会.pp.301-306.
- 農林水産技術会議事務局(1989)農林水産研究文献解

- 題．15 自然と調和した農業技術．農林統計協会，東京．
- 農水省農蚕園芸局農産課（1990）土壌環境基礎調査～基準点一般調査中間取りまとめ～：p83．
- 農林水産省農産園芸局農産課・日本土壌肥料学会（1991）日本の耕地土壌の実態と対策．土壌保全調査事業全国協議会．博友社，東京．pp.36-55, 75-96．
- 農林水産省農産園芸局農産課（1996）土壌改良と資材．土壌保全調査事業全国協議会．東京．pp.1-25, 26-51．
- 小川吉雄・茂垣慶一・河野 隆（1995）黒ボク土壌における各種有機物を連用した場合の窒素の動態．平成6年度研究成果情報(関東東海農業)．pp.179-80．
- 鬼鞍 豊（1986）試料調製．土壌標準分析・測定法．日本土壌肥料学会監修．土壌標準分析・測定法委員会編．博友社，東京．pp.75-76．
- 大橋恭一・岡本将宏・西川良和・西沢良一・中田 均・勝木依正（1982）露地畑におけるおがくず入り牛ふん堆肥連用効果(1)．10 作跡地土壌の理化学性および野菜の収量・養分吸収量．滋賀農試研報 24:87-97．
- 大橋恭一・岡本将宏（1985a）おがくず入り牛ふん堆肥連用による野菜収量と土壌水分環境の変動．土肥誌 56：373-377．
- 大橋恭一・岡本将宏（1985b）野菜の養分吸収と土壌の化学性に及ぼすおがくず入り牛ふん堆肥連用の影響．土肥誌 56：378-383．
- 大塩哲規・三好昭宏・青山喜典・松浦克彦・齋藤教子・津高寿和（2000）有機質資材の運用による転換畑の土壌変化とタマネギの収量．兵庫農技研報 48:22-27．
- 六本木和夫・石上 忠・武田正人（1992a）稲わら堆肥の連用が野菜の生育収量に与える影響．土肥誌 63：690-695．
- 六本木和夫・石上 忠・武田正人（1992b）稲わら堆肥の連用が沖積土壌の養分供給力に与える影響．土肥誌 63：696-702．
- 六本木和夫・石上 忠・武田正人（1993）稲わら堆肥の連用が沖積畑土壌の理化学性に与える影響．土肥誌 64：27-33．
- 六本木和夫・石上 忠・武田正人（1994）稲わら堆肥の連用が沖積畑土壌の腐植形態に与える影響．土肥誌 65：426-431．
- 佐藤徳雄・渋谷暁一・三枝正彦・阿部篤郎（1993）肥効調節型被覆尿素を用いた水稻の全量基肥不耕起直播栽培．日作紀 62：408-413．
- 関谷宏三（1970）りん酸の比色定量法．土壌養分分析法．土壌養分測定法委員会編．養賢堂．東京．pp.225-229．
- 志賀一一（1980）半世紀の有機質および無機質肥料連用試験．農事試場報 31：4-8．
- 志賀一一・大山信雄・鈴木正昭・前田乾一・鈴木弘吾（1985）水田における有機物管理が土壌の有機物集積，窒素供給能，水稻生育におよぼす影響．農業研究センター研究報告 5：21-38．
- 清水寛二・駒田 旦・高士祥助・川田 和（1980）ウリ類のつる割病に対するおがくず牛糞たい肥の施用効果．滋賀農試研報 22：104-109．
- 杉本宇吉（1963）水稻の不耕起移植栽培法．農及園 38：623-626．
- 鈴木 皓（1987）施肥の方法．植物栄養土壌肥料大事典．高井康雄・早瀬達郎・熊沢喜久雄編．養賢堂，東京．pp.539～542．
- 植物栄養土壌肥料大事典編集委員会（1987）植物栄養土壌肥料大事典．養賢堂，東京．pp.134-159, 260-262, 272, 361-406, 389-390, 535-542．
- 高橋 茂・山室成一（1992）堆肥連用水田における土壌無機化窒素発現量と土壌および灌漑水田由来窒素の水稻吸収量の推移．土肥誌 63：505-510．
- 高橋太一（1989）産地直結と有機農業．東北農村計画研究 6．
- 高橋太一（1995）園芸経営における環境保全型農業 - 有機農業など - ．pp.742-746．
- 高橋太一（1997）有機農業安定化のための流通販売活動．東北農試研報 92：63-96．
- 高橋能彦（1993）水稻不耕起移植栽培におけるペースト側条施肥の肥料利用効率と稲体の窒素吸収特性．土肥誌 64：681-684．
- 田村 元・山神正弘（1996）有機物 20 年連用畑圃場における養分収支からみた有機物管理法．平成7年度研究成果情報（北海道農業）．pp.198-199．
- 田辺市郎一・蘭 道生（1970）炭素窒素同時分析法．土壌養分分析法．土壌養分測定法委員会編．養賢堂，東京．pp.139-147．
- 丹原一寛・美園 繁（1972a）実容積法．土壌物理性測定法．土壌物理性測定法委員会編．養賢堂，東京．

- pp.1-24 .
- 丹原一寛・美園 繁(1972b) 土壌の3相. 土壌物理性測定法. 土壌物理性測定法委員会編. 養賢堂, 東京. pp.24-52 .
- 寺沢四郎(1972) 保水性. 土壌物理性測定法委員会編. 土壌物理性測定法. 養賢堂, 東京. pp.134-159 .
- 東京都農業試験場(1978) 東京都農耕地土壌の基本的性格と生産力特性. 地力保全基本調査総合成績書. pp.1-32, 215-301, 302-310 .
- 東京都農業試験場(1979~1997) 土壌保全調査抄録. 東京農業試験場成績書 .
- 東京都労働経済局(1997) 農林水産業の概要. pp.10-17 .
- 東京都労働経済局(2000) 平成12年度版農林施策の概要. pp.570-599 .
- 東京都肥料検査所(2000) 平成10肥料年度都内肥料需給調査書. pp.1-26 .
- 上村幸廣・宇田川義夫・松原弘一郎・井ノ子昭夫(1983) 有機物施用によるシラス水田土壌の生産力増強. 土肥誌 54 : 131-136 .
- 上沢正忠(1991) 化学肥料・有機物の連用が土壌・作物収量に与える影響の全国的解析. 農業技術 46 : 393-397 .
- 山田良三・沖野英男(1991) 土壌の水分環境と作物生育(第2報). 堆肥連用畑土壌における水分特性と窒素吸収. 愛知農総試研報 23 : 281-288 .
- 山下鏡一(1978) 水田における有機物の効果と問題点. 土肥肥 49(特集号): 52-60 .
- 山添文雄・越野正義・藤井国博・三輪容太郎(1973) 詳解肥料分析法. 養賢堂, 東京. pp.39~43 .
- 矢崎仁也(1994) 作物の養分過剰と対策. 土壌・植物栄養・環境事典. 松坂泰明・栗原 淳監修. 博友社, 東京. pp.215-216 .
- 横井 肇(1972) 土壌の固相. 土壌物理性測定法委員会編. 土壌物理性測定法. 養賢堂, 東京. pp.42-47 .
- 吉倉惇一郎・青山喜典・二見敬三(1988) 軟弱野菜の収量並びに土壌微生物活性からみた各種有機質資材の特性. 近畿中国農研 75 : 35-40 .