

瘠薄心土による造成畑の肥沃化過程

—17 年間における収量の推移—

山岸順子*・松崎昭夫

(東京大学)

要旨: 東京大学農学部附属農場において、1980 年より、瘠薄な心土を用いて造成された畑地の肥沃化過程に関する研究を、表土(黒ボク土)との比較のもとに開始した。化学肥料の施用の有無と、それぞれに堆厩肥施用 2 段階および堆厩肥無施用区の計 6 処理区を表土区と心土区に設け、トウモロコシ-オオムギ-ダイズ-オオムギの 2 年 4 作の作付けを行った。化学肥料のみを施用した表土区を標準区として、乾物収量の比較を行った。その結果、化学肥料を施用した区においては、表土区では収量に対する堆厩肥施用の効果は認められなかった。また、心土区においてはトウモロコシの収量にはやや相加的な効果が認められたが、オオムギ・ダイズでは認められなかった。このことは、堆厩肥の連用に伴う土壤中の有機物含量の増加が収量の増加に結びつき難いことを示しており、堆厩肥の収量に対する効果という観点と環境負荷という観点からさらに検討する必要があると考えられた。また、堆厩肥のみを施用した場合には、表土区においても標準区と比較して低収量であり、心土区においてはさらに低い収量であった。しかし、試験の継続に伴って徐々に上昇し、15 年程度の連用で、表土区においては堆厩肥少量施用でも、また、瘠薄な心土区では多量施用により化学肥料施用区に匹敵する収量が得られるようになり、心土区と表土区との差異が認められなくなることが明らかとなった。

キーワード: 化学肥料, 収量, 堆厩肥, 長期連用試験, 土壌肥沃度。

著者らは 1980 年より、瘠薄な土壌を用いて造成された畑地の肥沃化過程に関する研究を開始した。当時は、日本において高度経済成長のもたらした問題点がクローズアップされてきた時代にあたる。農業分野においても、多投入による生産性の向上および生産の拡大が強調された結果、農地の地力低下という問題が浮上し、地力の向上・維持の必要性が論議されていた。地力の低下は一朝一夕に起こるものではなく、継続的な栽培管理、耕種操作による結果である。逆に、地力の向上、つまり圃場の肥沃化という過程については、さらに長期にわたる意識と技術をもって対処することが必要であると考えられる。つまり、圃場の肥沃度には、生物的、化学的、物理的な多くの要因が複雑に関係しており、肥沃化には、長い時間をかけ、経時的かつ継続的な変化を起こす必要のあることが予想された。そこで、本試験は地力の低い圃場が熟畑となっていく過程を、長期にわたって継続的に明らかにすることを目的として開始された。このような長期にわたる試験は近年減少しており、また、日本における畑地についての試験は開墾地を対象としたものが中心であった。しかしながら、近年においては環境負荷が少なく持続的かつ安定多収の栽培方法が模索されている中であって、長期試験の必要性が見直され、また地力の適正な評価の重要性が指摘されている(Poulton 1996, 早川 1998)。そこで、本試験では、試験開始後 17 年を経過したことから、収量の推移に関して得られた結果について報告することとした。

材料と方法

東京大学農学部附属農場(東京都田無市)の圃場の土壌母材は立川ローム層である。表層は腐植の多い火山性黒ボ

ク土(土性 L)であり、心土は腐植の少ない痩せた赤土(土性 CL)である。この表層の土壌と、心土の赤土とを用いて、深度 25 cm の隣接した圃場を造成した。1980 年より、トウモロコシ-オオムギ-ダイズ-オオムギの 2 年 4 作の作付けを開始した。トウモロコシの品種は 1982 年に交 7 号を用いたほかは、1996 年まで全てゴールドデントを用い、また、オオムギ品種はドリルムギ、ダイズ品種はエンレイを継続して使用した。試験区は第 1 表に示したように有機物源としての堆厩肥 2 段階と化学肥料の組み合わせで、6 処理区を表土区・心土区のそれぞれに設けた。各処理区の面積は、表土区で 1 区 64 m² (8×8 m)、心土区で 56 m² (7×8 m) とし、各処理区とも 4 反復とした。播種はオオムギは畝間 17.8 cm の条播、トウモロコシは畝間 71 cm 株間 23 cm の一粒点播、ダイズは畝間 71 cm 株間 17.5 cm の一粒点播で行った。トウモロコシの播種日は初年次 6 月 6 日であったが以後は 7 月上旬とし、収穫は 9 月下旬に行った。オオムギの播種は 11 月前半に、また収穫は 5 月末から 6 月上旬の間に行った。ダイズにおい

第 1 表 処理区の概要。

処理区	化成肥料	堆厩肥
1	無施用	無施用
2	100 kg/10a	無施用
3	無施用	2t/10a
4	無施用	6t/10a
5	100 kg/10a	2t/10a
6	100 kg/10a	6t/10a

処理区 2-6 では溶燐 200 kg/10a を同時に施用。化学肥料は、オオムギおよびトウモロコシには N:P₂O₅:K₂O=12:18:16%, ダイズには 3:10:10% を使用。

ては播種を6月下旬、収穫を10月後半に行った。堆厩肥はムギわらと牛糞尿の混合物を堆積発酵した中熟物であり、窒素含有率が0.2から0.4%であった。堆厩肥の施用は、2あるいは6t/10aの2段階とし、1990年播種の冬作までは夏作・冬作ともに播種前に行ったが、1991年より冬作播種前のみとした。化学肥料は当農場の慣行栽培法に従い、オオムギおよびトウモロコシにはN:P₂O₅:K₂Oが12:18:16%、ダイズには3:10:10%の化成肥料を使用し、各々100kg/10aとした。圃場を耕深23cmでプラウ耕の後、ディスクハローで整地し、施肥を全量基肥として土壌表面に手播きした。化学肥料も堆厩肥も施用しなかった処理区1を除き他の処理区ではすべて、夏作冬作共に施肥時に熔燐200kg/10aを同時に施用した。施肥後、再度ディスクハローにより攪拌・整地し、播種を行った。

収量調査として、オオムギでは穂、トウモロコシでは地上部、そして、ダイズにおいては子実(莢は除く)を、各区畝2mの長さについて収穫期に採取し、80°Cにおいて乾燥後、秤量した。化学肥料のみを施用した表土区の処理区2を標準区とした。なお、収量調査の結果は全て収穫年次で記した。

結 果

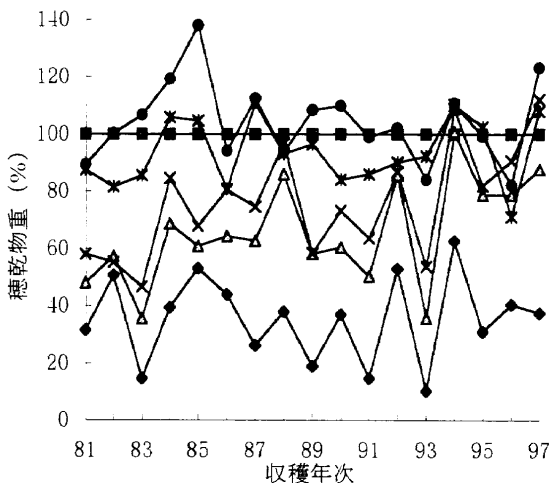
1980年夏作トウモロコシから1997年収穫の冬作オオムギまで、17年間にわたって作付けされた作物の収量の推移について、標準区(表土区処理区2)で得られた結果を第2表に示した。そして、各年度、各作期における標準区の収量を100として、各処理区の収量を相対値によって、第1図から第3図に示した。

第1-A図はオオムギの表土区、第1-B図はオオムギの心土区における各処理区の穂乾物重の17年間における推移を示した。表土区において化学肥料を施用した区(第1-A図、処理区2、処理区5、処理区6)におけるオオムギ

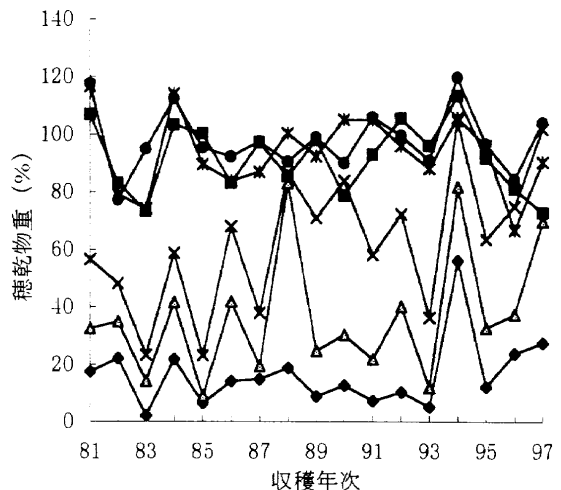
穂乾物重は、年次変動が認められるものの、試験開始当初よりほぼ同様の値を示しており、このことは、化学肥料を施用した場合には堆厩肥とは関係なく、標準区とほぼ同様の収量が得られることを示している。これらを中心区における化学肥料を施用した区(第1-B図、処理区2、処理区5、処理区6)と比較すると、心土区においても表土区と同様に堆厩肥の施用とは関係なく、化学肥料を施用した場合には標準区とほぼ同様の収量が得られた。つぎに、化学肥料を施用せず、堆厩肥のみを施用した区(処理区3、処理区4)について比較すると、まず、表土区においては両区ともほぼ同様の経過を示し、試験開始後数年間においては標準区の約半分の収量であったにも関わらず、年次を経ると共に徐々に増加し、試験開始後15年(1994年)を経

第2表 表土区処理区2における収量の推移。

収穫年次	オオムギ 穂乾物重 (g/m ²)	トウモロコシ 地上部乾物重 (g/m ²)	ダイズ 子実乾物重 (g/m ²)
1980	—	1146	—
1981	653	—	281
1982	849	932	—
1983	655	—	178
1984	730	993	—
1985	478	—	280
1986	607	913	—
1987	712	—	109
1988	669	894	—
1989	689	—	189
1990	677	1840	—
1991	784	—	121
1992	647	1051	—
1993	1168	—	257
1994	728	1081	—
1995	567	—	212
1996	691	496	—
1997	599	—	306



第1-A図 表土区におけるオオムギ穂乾物重の推移。
表土区処理区2を100として相対値で示す。
-◆-: 処理区1, -■-: 処理区2, -△-: 処理区3,
-×-: 処理区4, -*-: 処理区5, -●-: 処理区6。

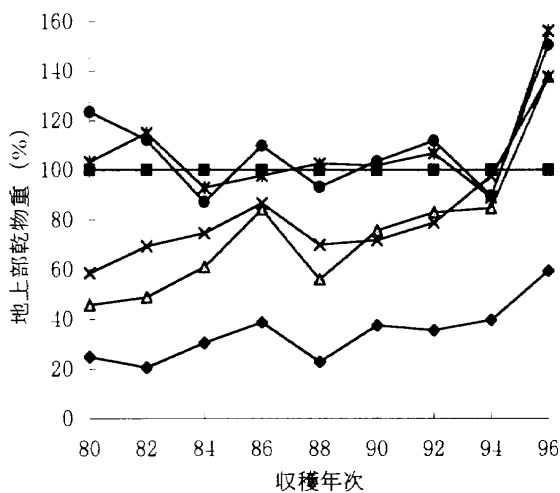


第1-B図 心土区におけるオオムギ穂乾物重の推移。
表土区処理区2を100として相対値で示す。
記号は第1-A図と同じ。

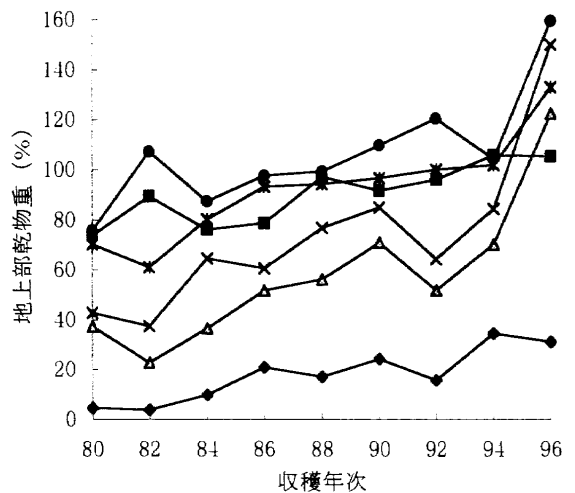
た頃から、標準区に匹敵する値となった。心土区における堆厩肥のみを施用した区(処理区3, 処理区4)では、表土区と異なり、処理区3と処理区4の間に差異が認められた。堆厩肥施用量の多い処理区4においては試験開始後7年間は標準区の約半分の収量であったが、その後上昇し、表土区と同様試験開始後15年(1994年)を経た頃から標準区に匹敵する値となった。しかしながら、堆厩肥施用量の少ない処理区3においては高い収量が得られた年次もあるが、概ね標準区の半分以下の収量で経過した。したがって、堆厩肥施用量の多い場合(処理区4)に関しては、試験開始後7年程度経た後には表土区と心土区の差異が認められなくなったが、堆厩肥施用量の少ない場合(処理区3)には試験開始後17年を経ても心土区では収量が低く、表土区との間に差異が認められることが明かとなった。つぎに、無施肥区(処理区1)について表土区と心土区を比較すると、共に標準区に比べ収量は低かった。特に心土区で低く、表土区との差異は年次を経ても変わらな

い。また、化成肥料が施用されていない3区(処理区1, 処理区3, 処理区4)では、表土区、心土区共に、ダイズの後作(偶数年次)においてトウモロコシの後作(奇数年次)よりも収量が増加する傾向が顕著に認められた。

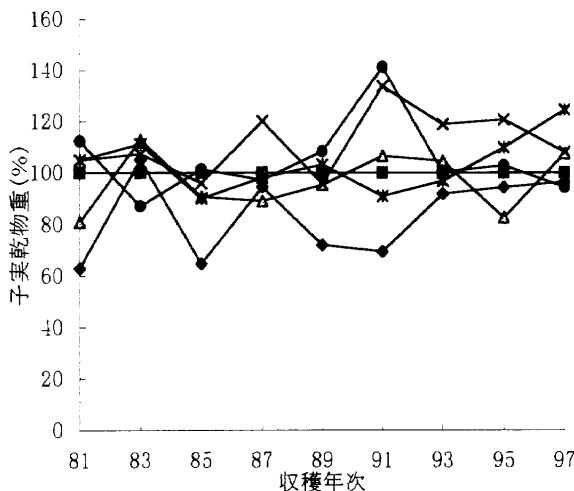
第2-A図はトウモロコシの表土区、第2-B図はトウモロコシの心土区における各処理区の地上部乾物重の17年間における推移を示した。表土区において化学肥料を施用した区(第1-A図, 処理区2, 処理区5, 処理区6)におけるトウモロコシ地上部乾物重は、1996年を除き、ほぼ同様の値を示し、このことは、化学肥料を施用した場合には堆厩肥の施用の有無とは関係なく、標準区と同様の収量を得られることを示している。これに対して、心土区における化学肥料を施用した区(第1-B図, 処理区2, 処理区5, 処理区6)では、試験開始直後には標準区よりもやや低かったが、年次を経るにしたがって徐々に増加して、表土区との差異が認められなくなった。堆厩肥を多量施用した区(処理区6)においてはその増加が速い傾向が認めら



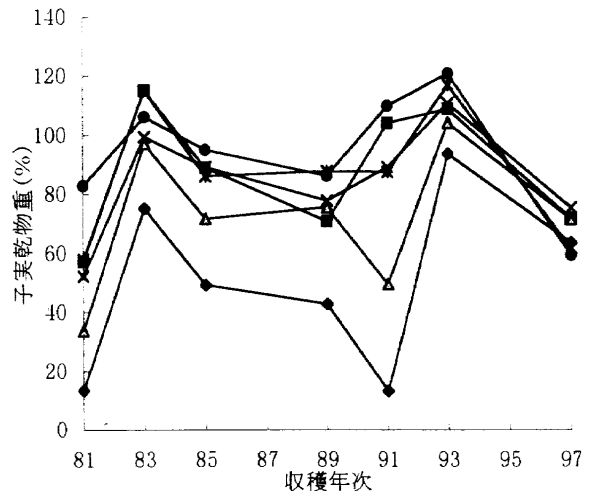
第2-A図 表土区におけるトウモロコシ地上部乾物重の推移。表土区処理区2を100として相対値で示す。記号は第1-A図と同じ。



第2-B図 心土区におけるトウモロコシ地上部乾物重の推移。表土区処理区2を100として相対値で示す。記号は第1-A図と同じ。



第3-A図 表土区におけるダイズ子実重の推移。表土区処理区2を100として相対値で示す。記号は第1-A図と同じ。



第3-B図 心土区におけるダイズ子実重の推移。表土区処理区2を100として相対値で示す。記号は第1-A図と同じ。

れた。1996年におけるトウモロコシ地上部乾物重は、標準区および心土区で化学肥料のみ与えた区(処理区2)では他年次に比較して非常に低く(第2表, 第1-B図, 処理区2), 堆厩肥を与えた全処理区(処理区3, 処理区4, 処理区5, 処理区6)でこれを上回った。1996年は他年次と異なる特殊な年次であったと考えられる。1996年を除いてさらに化学肥料を施用せず, 堆厩肥のみを施用した区(処理区3, 処理区4)について比較すると, まず, 表土区においては両区ともほぼ同様の経過を示し, 試験開始直後においては標準区の約半分の収量であったにも関わらず, 年次を経ると共に徐々に増加し, 試験開始後15年(1994年)を経て標準区と差異が認められなくなった。心土区の堆厩肥のみを施用した区(処理区3, 処理区4)においても, 表土区よりもやや遅れが認められるものの同様の推移を示し, 年次を経ると共に収量が増加し, 標準区との間の差異が減少した。つぎに, 無施肥区(処理区1)の収量について比較すると, 表土区のほうが心土区よりもやや高く, 共に年次を経るに従い増加が認められるものの, 標準区に比較して低い値となった。

ダイズの子実乾物重の17年間における推移を, 第3-A図は表土区, 第3-B図は心土区について示した。ダイズの場合は, 前述のオオムギ, トウモロコシと異なり, 表土区においては無施肥区(処理区1)でやや低い収量となる年次があったものの, ほぼ処理に関係なく, 試験期間を通して標準区と同様の収量が得られた。心土区においては第1作目の収量が表土区に比較して低かったが, その後, 処理区1を除いて上昇し, 表土区との差異は認められなくなった。

考 察

本試験におけるオオムギの場合には, 化学肥料を与えるとき, 収量に対する堆厩肥の効果は認められなかった。また, このことは, 試験開始当初から, そして, 有機物含量が少ない心土区においても表土区と同様に認められた。鉍質畑におけるエンバクとトウモロコシの厩肥連用試験(三木 1969)においては, 化学肥料を多量に与えた場合には厩肥の有無と収量は関係がないが, 化学肥料が少量の場合には収量に対する厩肥の効果が認められたことが報告されている。同じく, 鉍質畑において化学肥料に加えて厩肥を施用すると, 施用量に応じて作物収量が増加するという報告がある(吉田・佳山 1979)。また, ロザムステッドにおけるコムギの厩肥連用試験(Poulton 1996)の結果では, 厩肥と化学肥料を共に投与すると厩肥のみの場合あるいは化学肥料のみの場合に比較して収量が増加し, 相加的な効果があるという。堆厩肥を長期にわたって連用すると, 無機化窒素量が増加することが知られており, 約20年程度で投与堆厩肥に含まれる窒素の内の90%程度は無機化されるという(高橋 1985b)。前述の鉍質畑あるいはロザムステッドにおける試験で, 化学肥料と厩肥の相加的効果が

認められた場合には, この無機化窒素が収量増加に寄与したと考えられる。しかし, 本試験においては, 近年投与した堆厩肥中の窒素の多くは無機化されていると考えられるにもかかわらず, このような相加的な効果は認められなかった。さらに, 心土区においても試験開始当初から, 化学肥料を与えた場合にはオオムギ収量に対する堆厩肥の効果が認められなかった。堆厩肥投与によって土壤有機物含量が増加すること, 無機化窒素量が増加することは既に試験開始7年目に認められている(山岸ら 1987)。したがって, 本試験のオオムギ収量に関しては乾物収量で見ると化学肥料による無機態窒素量で十分と考えられ, 堆厩肥投与によって増加した土壤有機物から無機化する窒素が収量増加には結びつかないことがわかった。また, トウモロコシにおいては表土区ではオオムギと同様に収量に対する化学肥料と堆厩肥の相加的作用は認められなかった。心土区においては化学肥料のみを与えた区(処理区2)の収量が試験開始直後から標準区よりも低く, その後徐々に増加した。その増加が堆厩肥多量施用により速い傾向が認められ, その点においては化学肥料と堆厩肥の相加的な効果があったと考えられた。また, 1996年においてはトウモロコシの収量は堆厩肥施用区で他の区よりも多かった。この年の化学肥料のみ与えた区の収量は他年次よりも低く, したがってこのことは, 堆厩肥が施用されていた区ではその低下が少なかったことを示している。1996年夏作には特殊な条件があったと推測されるが, その原因については不明である。ところで, 堆厩肥は多量連用による過剰害が知られている(高橋 1985a)が, 本試験においては現在までのところ多量連用による収量減少は認められなかった。したがって, オオムギ, ダイズおよびトウモロコシの表土区においては, 化学肥料を与えた場合における堆厩肥の収量に対する効果が認められず, 堆厩肥連用によって増加した土壤有機物から無機化する窒素が収量増加には結びつかないと考えられた。この土壤有機物から無機化される窒素は, 土壤中の有機物中への取り込み, あるいは雨水に伴う圃場外への流亡あるいは脱窒による大気中への揮散等によって作物体に利用されていない可能性があると考えられる。この圃場における窒素の動態に関しては, 作物収量に対する堆厩肥の効果および環境負荷の観点から, 今後さらに検討する必要があると考えられる。

ロザムステッドにおける100数十年にわたる厩肥連用試験(Jenkinson 1991)によれば, 厩肥を3.5t/年与えた区に対して, 肥料成分量で同等の化学肥料を施用すれば化学肥料でも充分厩肥に代わるものであるという結果が得られている。しかしながら, 本試験では1990年まで処理区3において年間堆厩肥4t/10a, 処理区4において年間12t/10aを投与したにもかかわらず, オオムギおよびトウモロコシの収量は化学肥料区よりも非常に低かった。本試験では, 処理開始当初より熔燐を継続施用していること, および, 堆厩肥のみを施用した処理区3・4において, オオム

ギ収量がダイズの後作において高く、トウモロコシの後作において低かったことを考え合わせると、上記の化学肥料を施用した区と堆厩肥のみの区との収量の差異は無機態窒素の供給量の差によるものと考えられる。土壌中の有機物からの無機化窒素量は有機物含量の多少によって異なり、等量の堆厩肥を施用した場合でも土壌中の有機物含量が少ないときには無機化窒素量が少ないことが知られている(高橋 1985b)。したがって、この結果は本試験開始時には表土区においても土壌中の易分解性有機物含量が少なく、オオムギ・トウモロコシの生育に対して化学肥料区に匹敵する無機態窒素を供給できなかったことを示していると考えられる。そして、堆厩肥の連用による土壌中の有機物含量の増加に伴い、無機化窒素量が徐々に増加し(山岸ら 1987)、表土区処理区3・4および心土区処理区4においては処理開始後15年を経たころから化学肥料区に匹敵する無機化窒素を作物に供給できるようになったと考えられる。心土区処理区3では、投与堆厩肥量が少ないため、化学肥料区と同様の収量を得るためにはさらに長い期間が必要とされたと考えられた。

以上より、本試験においては、化学肥料を施用した場合には堆厩肥施用が収量増加に結びつきがたいことが明らかとなり、堆厩肥施用に伴う無機化窒素の動態について作物による利用および環境負荷という観点からさらに検討する必要のあることが示された。また、堆厩肥のみを施用した場合には、瘠薄な心土区においても多量施用により15年程度の連用で化学肥料施用に匹敵する収量が得られ、心土区と表土区との差異が認められなくなることが明らかとなった。

謝辞: 本試験の遂行にあたり、以下の方々の多大なご尽力を得ました。ここに感謝の意を表します。(敬称略) 元東京大学農学部附属農場教官、角田公正、春原亘、刈屋国男、坂井直樹、稲永忍、長門康郎、中元朋実、高野哲夫、現農場教官、米川智司の各位。また、本農場技術官、衛藤邦男、下田和雄、小泉元三、秦野茂をはじめ、試験開始当初より多くの技術官の方々の多大なご協力を得て、本試験が継続されました。深くお礼申し上げます。

引用文献

- 早川泰弘 1998. 日本の地力の現状および今後の土壤保全対策. 農及園 73: 109-116.
- Jenkinson, D.S. 1991. The Rothamsted long-term experiments: Are they still of use? *Agron. J.* 83: 2-10.
- 三木和夫 1969. 畑土壌の窒素供給力に関する研究. 東海近畿農試研報 18: 353-406.
- Poulton, P.R. 1996. The Rothamsted long-term experiments: Are they still relevant? *Can. J. Plant Sci.* 76: 559-571.
- 高橋達児 1985a. 畑における土壌有機物水準の策定と立証. 農林水産技術会議事務局編, 農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定. 80-101. 農林水産技術会議, 東京.
- 高橋達児 1985b. 有機物施用基準の策定. 2. 畑. 農林水産技術会議事務局編, 農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定. 123-135. 農林水産技術会議, 東京.
- 山岸順子・稲永忍・稲生英夫・衛藤邦男・春原亘 1987. せき薄心土による造成畑の肥沃化過程. 6. 土壌の窒素肥沃度 日作紀 56(別1): 10-11.
- 吉田重方・佳山良正 1979. 鈣質畑地における厩肥の施用効果. 一特に畑作物の収量, 品質におよぼす厩肥施用の影響について— 肥料科学 2: 35-64.

The Maturing Processes of Field Reclaimed with Sub-surface Soil —The change of matter production during 17 years—: Junko YAMAGISHI* and Akio MATSUZAKI (*Univ. Farm, Fac. of Agric., The Univ. of Tokyo, Tanashi, 188-0002, Japan*)

Abstract: The maturing processes of field reclaimed with low fertile sub-surface soil was studied for 17 years since 1980 at University Farm, Faculty of Agriculture in the University of Tokyo. Six treatment plots containing the application of chemical fertilizer and two levels of farmyard manure combined with compost were established in both of the field with surface soil and sub-surface soil. A crop rotation of corn-barley-soybean-barley was continued and their yields were monitored. Yields in all plots with chemical fertilizer were high and were not affected by the application of manure in both fields with different soil, except corn grown in manure application plots with sub-surface soil. This indicated that the increase of organic matter in soil was not effective on yield when chemical fertilizer was applied. From the point of environmental conservation, it is a problem if some elements from manure flowed away, which needed more research. Yields in the plots with manure application and no chemical fertilizer were much lower than those in the plots with chemical fertilizer, especially in the field with sub-surface soil. Continuous application of manure, however, brought the increase of yield and, after about 15 years, yields in high manure application plots with sub-surface soil and in both manure application plots with surface soil were almost equal to that in chemical fertilizer applied plots. Therefore, no difference in yield was observed between the plots with sub-surface soil and with surface soil by the continuous manure application for 15 years.

Key words: Chemical fertilizer, Long-term experiment, Manure, Soil fertility, Yield.