

長期間にわたる有機物施用およびロータリー耕耘の有無が 作土の理化学性ならびに作物収量に及ぼす影響

加藤哲郎*・長谷川 功**・米田和夫**

Effects of Long-Term Application of Organic Matter and Rotary Tilling on
Physico-Chemical Properties of Surface Soil and Crops Yields

Tetsuo KATO¹·Isao HASEGAWA² and Kazuo YONEDA²

¹ Metropolitan Tokyo Agricultural Experiment Station, Tachikawa, Tokyo

² College of Bioresource Sciences, Nihon University, Fujisawa, Kanagawa

Summary

In the field of *Kuroboku* soil with humus top layer (Komekamito) at the Metropolitan Tokyo Agricultural Experiment Station (Tachikawa City) we investigated, in connection with the continuous application of organic matter, the effects of rotary tilling over a period of 20 years on the physico-chemical properties of surface soil and on crop yields. The results showed that the total carbon and total nitrogen contents of soil increased with the application of organic matter, but the rate of increase was smaller in tilling plot. In the plot where chemical fertilizers were continuously used, we found no effect of tilling on T-C and T-N. Available soil moisture content tended to decrease gradually over 20 years especially, the gaseous phase ratio at pF 1.5 tended to increase gradually, however, we observed a trend, as the years passed, that there were decreasing differences among the plots. Mineral nutrient content of the soil hardly differed between tilled and untilled soil, but it increased greatly in the plots where organic matter has been used repeatedly. Similarly to T-N of soil, available P₂O₅ increased with the continuous use of organic matter, but the rate of increase was lower in the tilled than in the untilled plot.

Rotary tilling had little effect on the yields of cabbage and radish, though they were slightly higher with the continuous use of organic matter and the practice of rotary tilling. Even when chemical fertilizer alone was used, yields were higher when tilling was employed. Rotary tilling did not decrease crop yields.

However, we noticed the formation of furrow pan due to rotary tilling, a tendency that was especially strong when only chemical fertilizers were used. Therefore 20 years of crop cultivation had no impact on the yields of cabbage and radish, but soil management that does not allow the formation of furrow pan is necessary, and for that reason the application of organic matter is important.

Key words : crop yields, *Kuroboku* soil, long-term application of organic matter, physico-chemical properties of soil, rotary tilling

1. はじめに

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。

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、耕深の深いブラウ耕と比べると、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、時々ブラウ耕を導入することが指導されている（農水省農産課，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、大型機械のブラウ耕よりは、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が行われており、過度のロータリー耕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な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、土壌への有機物の施用、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（農水省農産課，1996；農水省農産課・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有機物の連用を図ることが重要であると考えられる。

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。本研究は、今後の土壌管理や土壌物理性への対策の基礎的知見を得て、良好な農作物生産を行うことを目的として、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、有機物の連用との関係から検討したものである。

2. 試験方法

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）、有機物施用・ロータリー耕耘区（（有+耕）区）および有機物施用・ロータリー不耕耘区（（有+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後とした。またロータリー不耕耘は施肥時に浅く（10~15 cm）鋤起こしを行う以外、ロータリーによる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、窒素（N）、リン酸（ P_2O_5 ）、加里（ K_2O ）として、1 ha 当たり各区 240, 170, 170 kg を用いた。具体的な化学肥料は、硫安、過石、硫加を施用した。有機物施用区は、バーク堆肥を用い、その堆肥の分析を行い、不足分を追加して1 ha 当たり成分で N 240 kg, P_2O_5 170 kg とした。 P_2O_5 として化学肥料と同量（170 kg）となるようにバーク堆肥を施し、不足する N は硫安を用いて補足した。 K_2O については、堆肥中の P_2O_5 より K_2O がわずかに多い（表-1）ため、化学肥料施用区と同量に合わせることができにくいので調整は行わなかった。なお、堆肥の分析データがない年は、保存してあった前年または前々年の堆肥を使用しており、施肥設計もそのときのデータに基づいて行った。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。施用は年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 の間から土壌を採取し、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）（土壌養分測定法委員会，1970 d）によって測定した。pH は定法（土壌養分測定法委員会，1970 a）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（土壌養分測定法委員会，1970 c）。陽イオン交換容量（CEC）はセミクロ・ショーレンベルガー法（pH 7, 1 N 酢酸アンモニウム液抽出；pH 7,

表 1 供試した堆肥中の養分分析

Table 1 Chemical analyses of elements value in applied composts

Year	N (10^{-2} kg/kg)	P (10^{-2} kg/kg)	K (10^{-2} kg/kg)	Ca (10^{-2} kg/kg)	Mg (10^{-2} kg/kg)
1976	2.14	1.29	2.08	3.02	1.06
1977	— ^{a)}	—	—	—	—
1978	—	—	—	—	—
1979	2.73	1.93	2.20	2.72	0.78
1980	2.67	1.70	1.09	2.67	1.08
1981	2.60	1.66	1.49	3.02	0.77
1982	—	—	—	—	—
1983	3.27	1.60	1.20	3.50	0.82
1984	2.62	1.05	2.90	2.05	1.03
1985	3.04	1.32	1.79	3.45	0.86
1986	2.86	1.23	1.55	3.51	1.01
1987	2.90	1.42	2.21	3.31	1.17
1988	3.19	1.38	1.87	3.14	0.83
1989	2.71	1.15	2.00	1.89	1.11
1990	2.43	1.37	1.26	2.47	0.96
1991	3.12	1.25	1.94	3.01	1.04
1992	3.05	2.69	2.19	4.97	0.94
1993	—	—	—	—	—
1994	2.64	1.72	2.33	2.82	0.64
1995	—	—	—	—	—
1996	2.91	2.09	1.37	3.52	0.72

^{a)}: 保存してあった前年または前々年の堆肥を使用した。

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, 1970 b). 交換性陽イオン (CaO, MgO, K₂O) 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, 1970 b, f, g). 可給態 P₂O₅ はトルオーグリー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, 1970 e).

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 T-C および 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 (5~10 cm) 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, 1972 a). 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 (土壤物理性測定法委員会, 1972 b) によった。また、最終年には土壤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。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-1 と図-2 に、20 年間の間における土壌中の T-C および T-N 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の T-C 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い、もしくは微減する傾向がみられた。一方有機物施用区では顕著に増

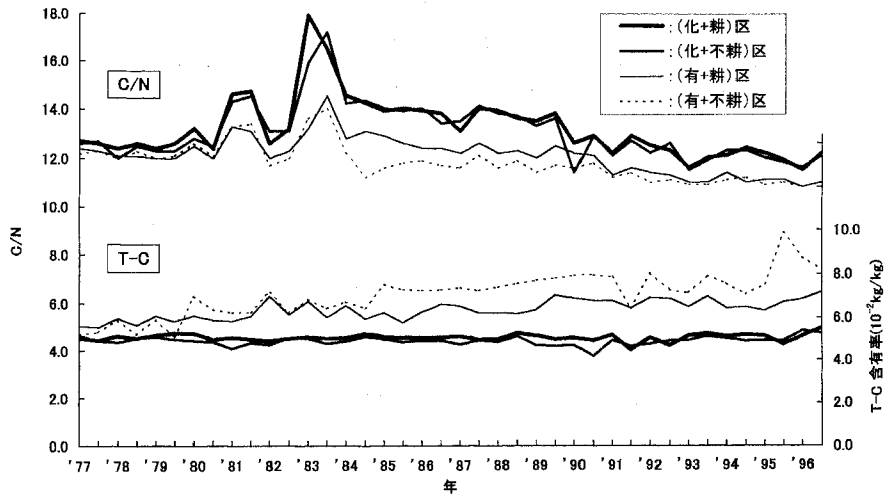


図-1 土壌の全炭素含量および C/N 比の経時変化

Fig. 1 Change in total carbon content and C/N ratio of soil.

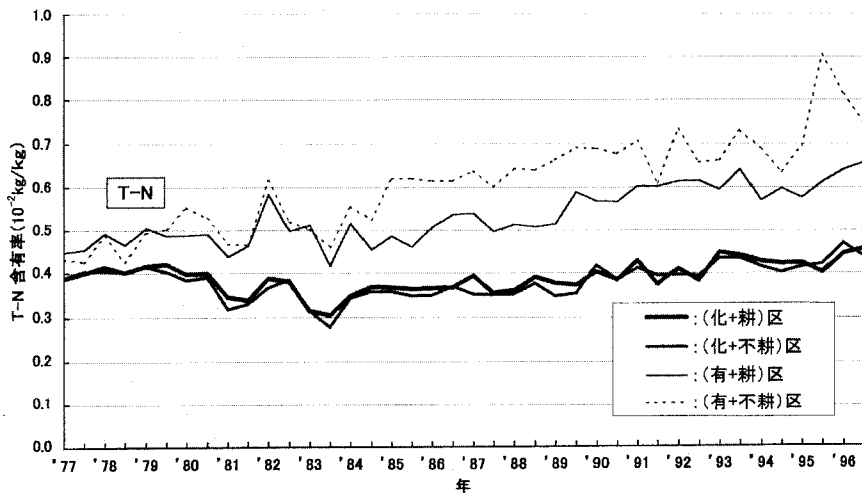


図-2 土壌の全窒素含量の変化

Fig. 2 Change in total nitrogen content of soil.

加し、その T-C 含量が開始時 5×10^{-2} kg/kg 程度であったのが、20 年間の間に約 7×10^{-2} kg/kg 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、土壌が好氣的条件となり、土壌微生物によって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 T-N 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、有機物を

連用すると、土壌中の T-N 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 T-N 含量は低いことは、T-C 含量と同様に有機態 N の無機化が耕起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-3 は pF 0, pF 1.5, pF 2.7, pF 4.2 の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

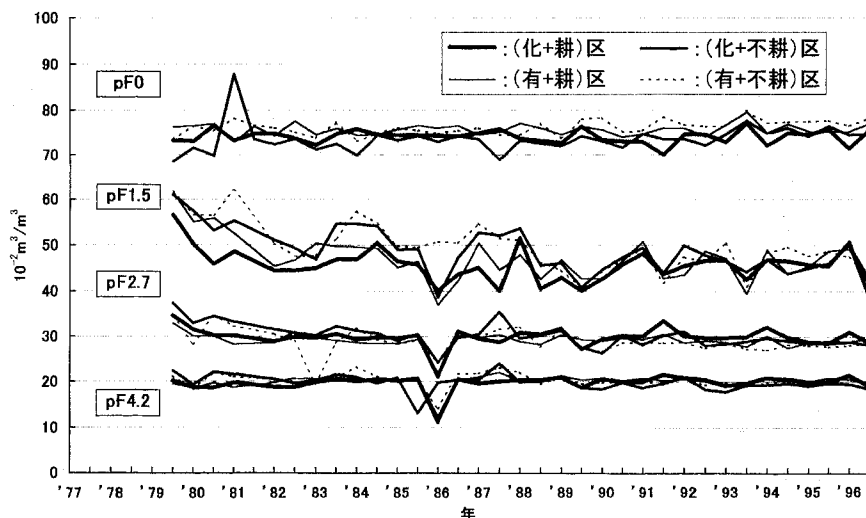


図-3 pF ごとの水分含量の変化

Fig. 3 Change in moisture content by various pF.

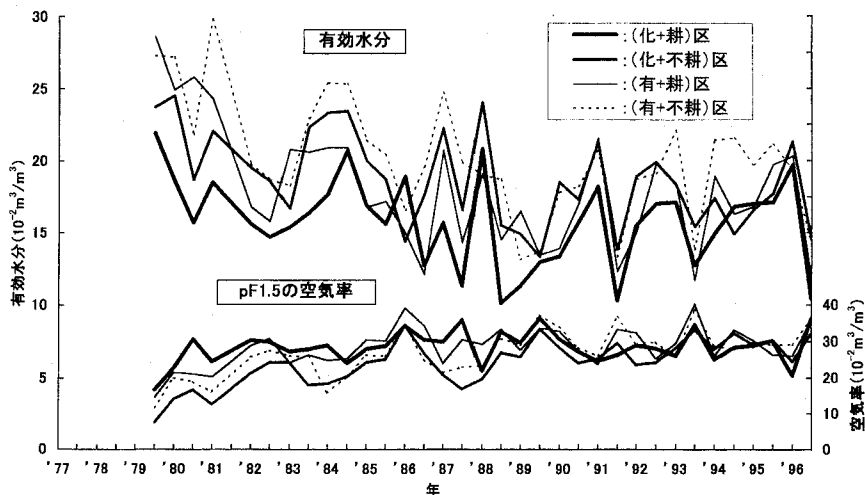


図-4 土壌の有効水分と空気率の変化

Fig. 4 Change in available moisture content and gaseous phase of soil.

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。pF 4.2の値は各区でほとんど差がみられなくなり、pF 0やpF 1.5では有機物を施用した区で体積含水率が高くなる傾向であった。このことはpF 1.5とpF 2.7の差で示される有効水分にも関係していたものと考えられた。図-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(有+耕)区ではほとんど大差がなく、(有+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)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著しく小さくなった。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く対応しており(図-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。

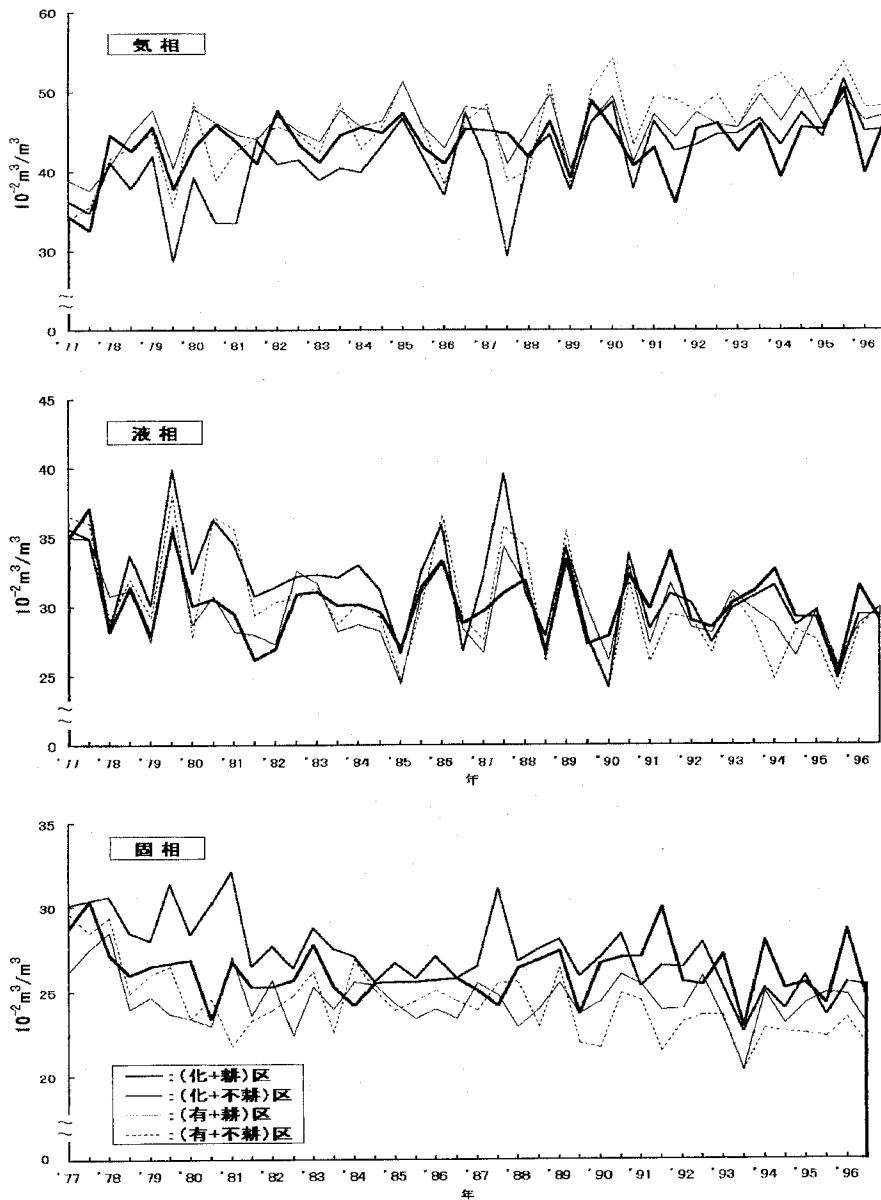


図-5 土壌の三相分布の変化

Fig. 5 Change in three-phase distribution of soil.

土壌有機物の増加にともなう CEC の変化をみると、明らかに有機物施用の有無によって異なり、有機物の連用によって CEC が次第に増加することが示された。しかも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 T-C 含量の推移とよく一致しており、CEC 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 CEC と同じような動きをしており、有機物を施用した CEC の

高い区で高くなっていた (図-6)。有機物からの塩基類供給と保肥力が大きいことから溶脱を抑えたことが要因と考えられた。なお、耕耘による影響は小さかった。

図-7~図-9 に、交換性 CaO, MgO および K_2O 含量の推移を示した。CaO, MgO を含む苦土石灰は年度によって施用量が異なることもあり、交換性塩基類のうち、特に CaO, MgO は測定年次による変動がかなり大きい。有機物の連用区では明らかに塩基含量が高く推移してお

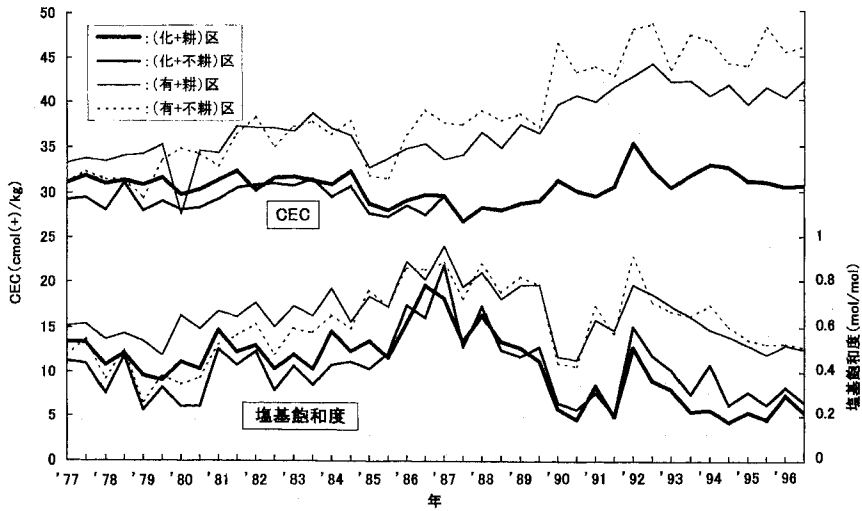


図-6 土壌の陽イオン交換量 (CEC) と塩基飽和度の変化

Fig. 6 Change in the cation exchange capacity (CEC) and case saturation of soil.

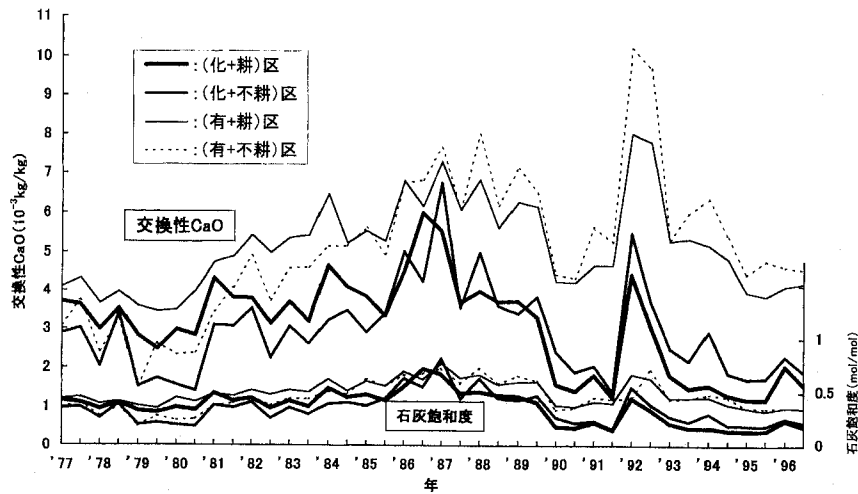


図-7 土壌の交換性 CaO と石灰飽和度の変化

Fig. 7 Change in exchangeable CaO content and lime saturation of soil.

り、最も MgO で、次いで CaO でその差が顕著であった。しかし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、CEC や交換性 CaO の高い有機物施用の区で高くなっていた (図-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-10)。このことは化学肥料区の T-N 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

考える。それに対し有機物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 EC (図-10) の値は、化学肥料施用区で若干大きく、有機物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間ではみられなかった。

土壌中の可給態 P_2O_5 含量の推移をみれば、(有+不耕)区は顕著に可給態 P_2O_5 含量が増加し、次いで(有+

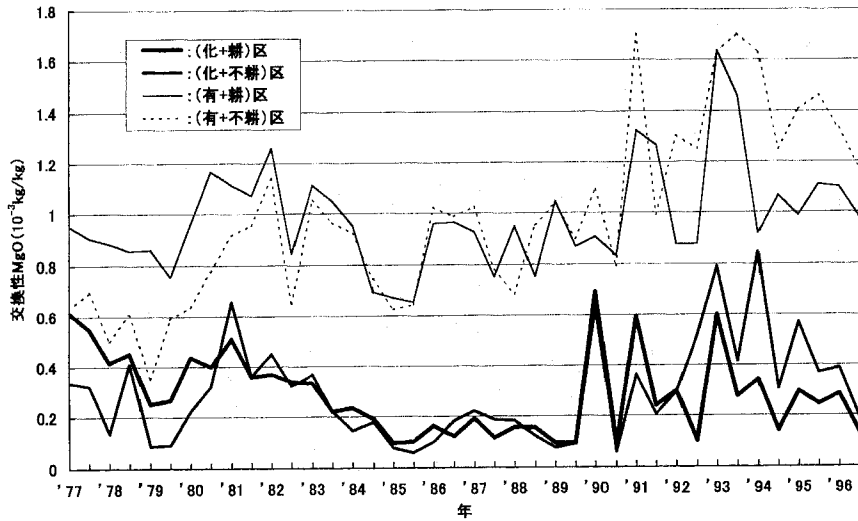


図-8 土壌の交換性 MgO の変化

Fig. 8 Change in exchangeable MgO content of soil.

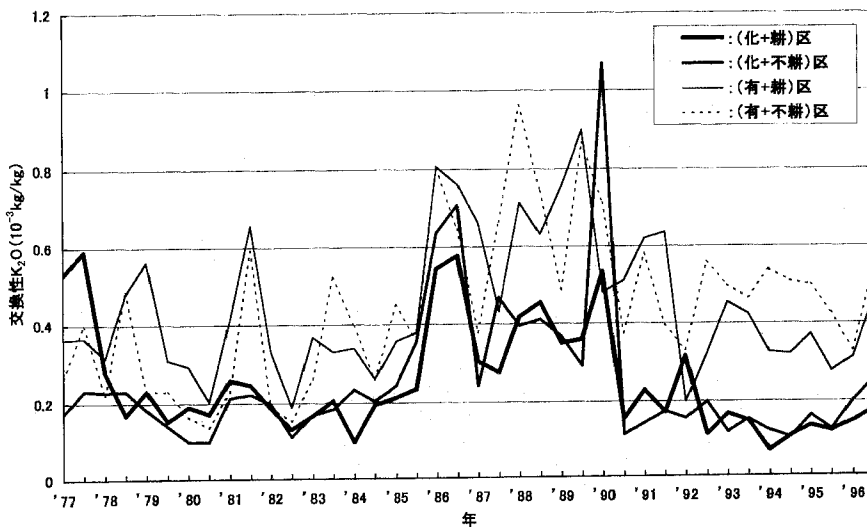


図-9 土壌の交換性 K₂O の変化

Fig. 9 Change in exchangeable K₂O content of soil.

耕) 区も次第に増加したが、不耕耘区より少なかった(図-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はほぼ同じレベルで推移した。また(有+不耕)区に比べ、(有+耕)区で可給態 P₂O₅ 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、有機物の分解が促進され、有機物中の P₂O₅ が可溶化し、吸収されたり、土壌に固定されることに起因

するものと考えられる。

20年間にわたる有機物施用およびロータリー耕耘の有無が土壌の理化学性におよぼす影響を検討した結果、有機物の連用は土壌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要因を大きく増大させた。

最終年に層位別の土壌硬度を測定したが(図-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

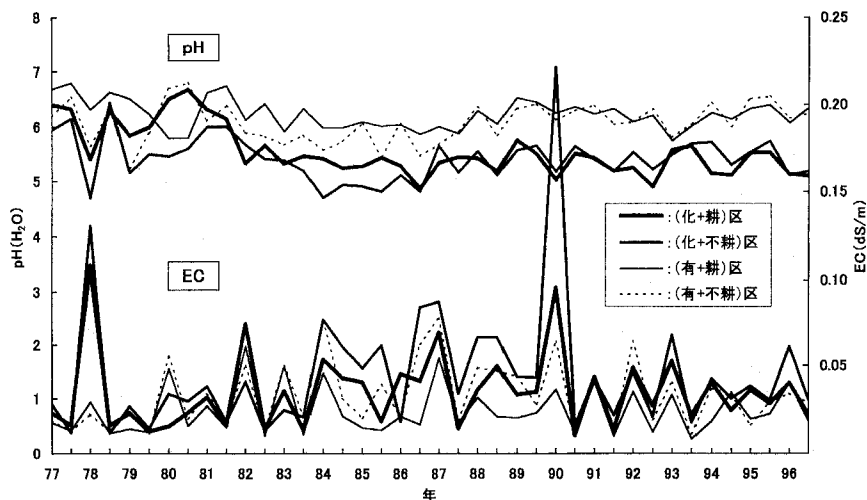


図-10 土壌の pH と EC の変化

Fig. 10 Change in pH and electric conductivity (EC) of soil.

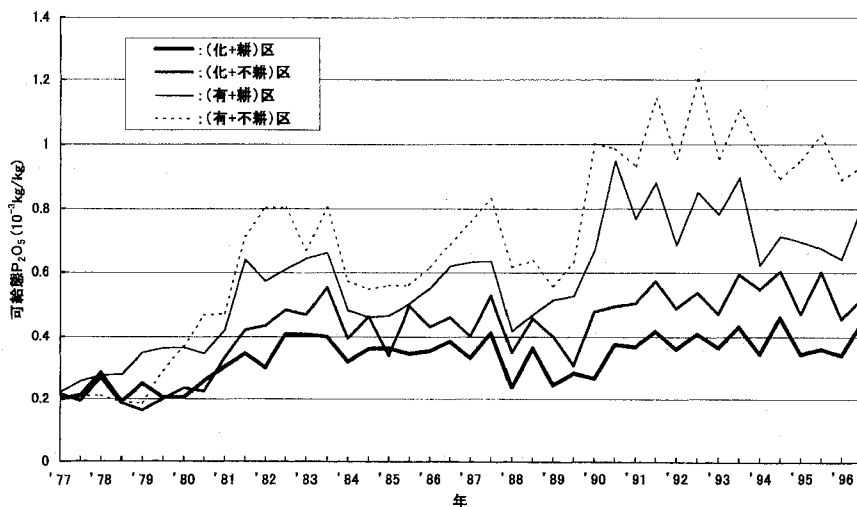


図-11 土壌の可給態 P₂O₅ 含量の変化

Fig. 11 Change in available P₂O₅ content of soil.

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、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、有機物の施用によって、土壌の膨軟性が増したものと推察される。

本研究では、ロータリー耕耘および不耕耘との組合

せで検討した結果、ロータリー耕耘は、土壌の理化学的な性状に対しては土壌有機物の分解を促し、その含量を低くすることで、T-N や P₂O₅ 含量が低下することを誘因していることが示された。それはあくまでも不耕耘と比較しての場合であり、必ずしも地力低下要因をもたらしているとはいえなかった。

図-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

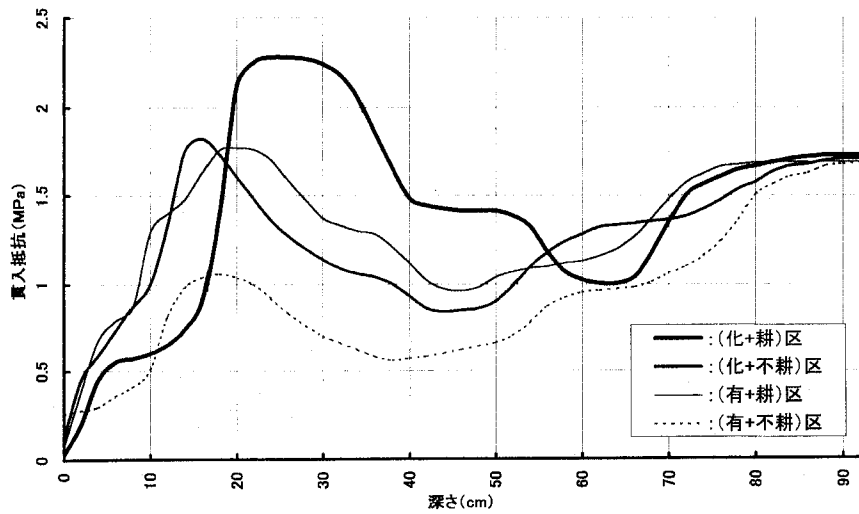


図-12 深さごとの土壌硬度（貫入抵抗）

Fig. 12 Soil hardness (resistance to penetration) at various depths.

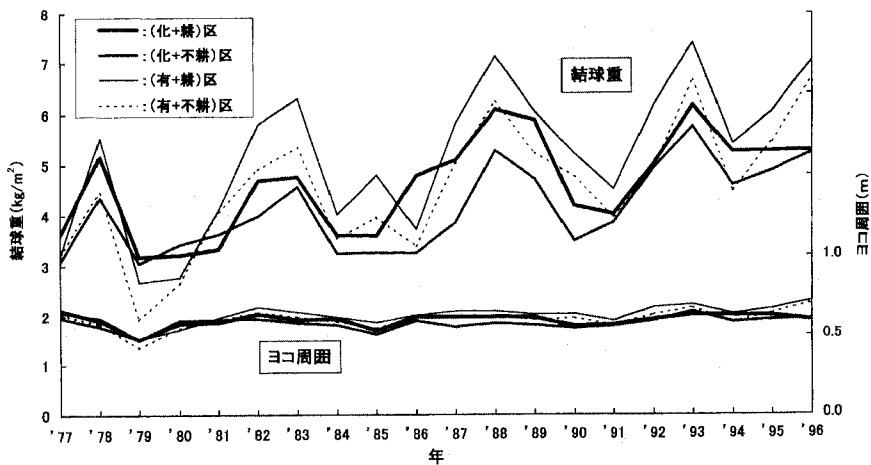


図-13 キャベツ結球部重と周囲長の変化

Fig. 13 Change in cabbage head weight and girth.

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、大きなマイナス要因とはなっていない。 (有+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。(有+不耕)区は(有+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。有機物

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弊害はみられなかった。また、有機物を施用すれば、ロータリー耕耘を行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ではなく、わずかであった。

図-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、

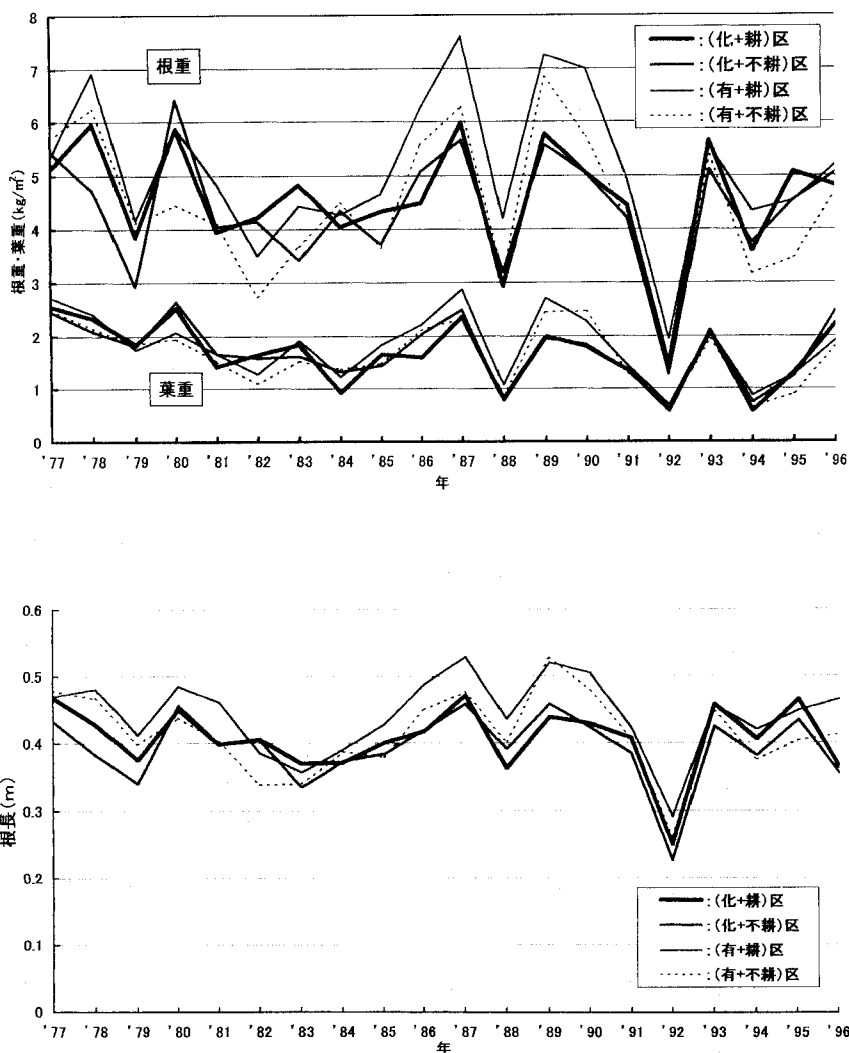


図-14 ダイコンの根重，葉重，根長の変化

Fig. 14 Change in radish root weight, leaf weight, and root length.

年度によって変動がみられたが、(有+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、収量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った。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、また有機物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、土壌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。

4. まとめ

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士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。この結果、土壌中のT-C・T-N含量は有機物の施用で増加するが、耕耘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耘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、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。土壌の無機養分含量は、耕耘による差異がほとんどなく、有機物連用した区で顕著に増大した。T-Nと同様に可給態 P_2O_5 は有機物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、有機物を連用し、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、それには有機物の施用は重要であると指摘できる。

引用文献

- 土壌物理性測定法委員会編 (1972 a) : 土壌物理性測定法, 土壌3相, 養賢堂, 東京, p. 1~52.
- 土壌物理性測定法委員会編 (1972 b) : 土壌物理性測定法, 土壌水分, 養賢堂, 東京, p. 134~159.
- 土壌保全調査事業全国協議会編 (1991 a) : 日本の耕地土壌の実態と対策, 博友社, 東京, p. 36~55.
- 土壌保全調査事業全国協議会編 (1991 b) : 日本の耕地土壌の実態と対策, 博友社, 東京, p. 75~96.
- 土壌養分測定法委員会編 (1970 a) : 土壌養分分析法, 酸度, 養賢堂, 東京, p. 29~32.
- 土壌養分測定法委員会編 (1970 b) : 土壌養分分析法, 塩基置換容量・全置換性塩基・塩基飽和度, 養賢堂, 東京, p. 33~44.
- 土壌養分測定法委員会編 (1970 c) : 土壌養分分析法, 塩類濃度, 養賢堂, 東京, p. 45~52.
- 土壌養分測定法委員会編 (1970 d) : 土壌養分分析法, 炭素, 養賢堂, 東京, p. 139~147.
- 土壌養分測定法委員会編 (1970 e) : 土壌養分分析法, りん酸, 養賢堂, 東京, p. 225~245.
- 土壌養分測定法委員会編 (1970 f) : 土壌養分分析法, カリウム, 養賢堂, 東京, p. 258~264.
- 土壌養分測定法委員会編 (1970 g) : 土壌養分分析法, カルシウム・マグネシウム, 養賢堂, 東京, p. 281~296.
- 農林水産省農産園芸局農産課監修 (1996 a) : 土壌改良と資材, 土壌保全調査事業全国協議会, 東京, p. 1~25.
- 農林水産省農産園芸局農産課監修 (1996 b) : 土壌改良と資材, 土壌保全調査事業全国協議会, 東京, p. 26~51.
- 東京都農業試験場 (1978 a) : 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, 東京, p. 1~32.
- 東京都農業試験場 (1978 b) : 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, 東京, p. 215~310.

受稿年月日: 1999年9月6日
受理年月日: 2000年2月8日