

十勝地域の未耕地土壌および農耕地土壌におけるリン酸の垂直分布と蓄積量*

谷 昌幸^{1,5}・溝田千尋^{2,3}・八木哲生^{2,4}・加藤 拓¹・小池正徳¹

キーワード リン酸蓄積, 黒ボク土, 褐色低地土, 層厚差, 垂直分布

1. はじめに

農耕地における物質循環や蓄積, とくに重金属元素の蓄積や有機炭素の動態などについては, 主に表層土壌を対象とし, 隣接する未耕地との比較や管理方法が異なる圃場間の比較などにより研究されてきた(足立, 1971; 日向, 1981; 後藤ら, 1997; 岡本, 2000; 後藤ら, 2002; 加藤, 2003; 中津・田村, 2008). 一方, 農耕地の土壌断面では, 開墾時の抜根作業, 整地作業および侵食などによる土壌の移動と流出, 耕地化に伴う土壌有機物含量の減少, 大型農業機械による土壌の圧縮などが起こり, 比較的平坦な地形面においては, 隣接する未耕地の土壌断面に比べて層厚が薄くなることが報告されている(Higuchi and Kashiwagi, 1993; 溝田ら, 2008). さらに, 農耕地の表層土では, 未耕地と比べて仮比重や固相率が増加する(Armand and Black, 1981; Blank and Fosberg, 1989; 溝田ら, 2008). そのため, 垂直方向も考慮した農耕地土壌全体における物質循環や蓄積を評価するためには, 土壌重量当たりだけではなく, 仮比重を考慮して土壌容積当たりで把握する必要がある。さらに未耕地土壌との比較の際には, 両者の土壌断面における層厚差を考慮することが重要である。なお, 本研究における層厚差とは, 未耕地と農耕地における土壌断面での対応する層位の出現位置や理化学性を基準とした場合に, 下層土の層位区分が同じで, かつ, リン酸吸収係数などの理化学性がほぼ一致する層位から表層までの土壌深さの違いを示すものとして定義した(溝田ら, 2008).

ところで, リン酸肥料の原料であるリン鉱石の枯渇や品質低下が持続的な農業生産を行う上で大きな問題となって

いる(安藤, 1983; 黒田ら, 2005). わが国の土壌, とくに畑土壌ではリン酸欠乏が作物生産性を強く抑制していたためリン酸肥料の多施用が行われ, 現在では土壌中の作物の利用可能なリン酸レベルが非常に高くなったにも関わらず, わが国の農耕地面積当たりの化学肥料リン酸消費量はいまだに世界最高である(西尾, 2005). 農耕地における施肥や有機物投入などに伴うリン酸の蓄積については, これまでに多くの報告がある(宮沢, 1980; 安田・斎藤, 1982; 吉池, 1983; 加藤ら, 1985; 相馬, 1986; 野中, 1991; 農林水産技術会議事務局, 1991; 小原・中井, 2004; 大島・後藤, 2008). いくつかの研究では, 農耕地表層土を対象にトルオーグ法による可給態リン酸の蓄積や実態について検討しているが(吉池, 1983; 小原・中井, 2004), 可給態リン酸は土壌に蓄積したリン酸の一部であり, その抽出割合は土壌型や土壌コロイド組成などによって大きく異なるため(相馬, 1986; Rodriguez and Fraga, 1999), 農耕地土壌へのリン酸蓄積量を本質的に評価するためには, 土壌の全リン酸含量とその存在形態を総合的に把握することが重要であると考えられる(宮沢, 1980; 農林水産技術会議事務局, 1991). また, 未耕地におけるリン酸の実態を把握することは既耕地の開墾時の実態を知り, 人為による施肥由来の正味のリン酸蓄積量やその動態を知る上で大切な情報である(農林水産技術会議事務局, 1991). いくつかの研究では, 畑地や草地などの農耕地と隣接する未耕地における土壌重量当たりの全リン酸含量や形態を比較しているが(野中, 1991; 農林水産技術会議事務局, 1991), 前述したように未耕地と農耕地の土壌の仮比重は大きく異なり, 土壌断面の層厚差があるため, これらを考慮してリン酸蓄積の実態を明らかにすることが重要であると考えられる。

本研究では, 十勝地域の農耕地, とくに普通畑土壌における施肥や有機物投入などの肥培管理が土壌へのリン酸蓄積量とその形態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。そのために, 畑地および隣接する未耕地において土壌断面調査と試料採取を行い, 全リン酸含量および各種形態別リン酸含量の垂直分布を調べた。さらに, 溝田ら(2008)により報告されている同試料の仮比重から, 土壌容積当たりのリン酸含量を評価するとともに, 未耕地と農耕地における土壌の層厚差を考慮し, 農耕地における正味のリン酸蓄積量を調べた。

* 本研究の一部は2006年9月日本土壌肥料学会秋田大会において発表した。

¹ 帯広畜産大学地域環境学研究部門 (080-8555 帯広市稲田町西2線11番地)

² 帯広畜産大学大学院畜産学研究科 (080-8555 帯広市稲田町西2線11番地)

³ 現在, 株式会社モリタホールディングス技術研究所 (518-0001 伊賀市佐那具町金神塚1700-2)

⁴ 現在, 北海道立総合研究機構根釧農業試験場 (086-1135 標津郡中標津町旭ヶ丘7番地)

⁵ E-mail: masatani@obihiro.ac.jp
Corresponding Author: 谷 昌幸

2010年1月7日受付・2010年3月25日受理

日本土壌肥料学雑誌 第81巻 第4号 p.350~359 (2010)

2. 試料と方法

1) 調査地点と供試試料

調査地点は、溝田ら(2008)の研究で対象とした十勝管内の芽室町中伏古(芽室)、音更町西中音更(音更)および幕別町相川(幕別)の3地点とした。各地点の農耕地1ヶ所および隣接する未耕地1ヶ所の計6ヶ所において土壌断面調査を実施した。各地点の土地利用、断面形態、記載結果および理化学性などについては、溝田ら(2008)の研究で詳細に報告されている。以後、各供試土壌は括弧内の名前を使用して記述した。芽室の供試土壌は典型淡色黒ボク土、音更の供試土壌は多腐植質厚層黒ボク土、幕別の供試土壌は細粒質普通褐色低地土(農耕地土壌分類委員会, 1995)に分類される。

土壌試料は、溝田ら(2008)と同じ試料を供試し、表層から深さ5 cmごとに採取した。芽室の農耕地では深さ80 cmまで、未耕地では100 cmまで、音更の農耕地および未耕地ではともに100 cmまで、幕別の農耕地では深さ120 cmまで、未耕地では150 cmまで採取した。土壌試料は風乾後、2 mmのふるいに通して分析に供試した。なお、本研究で供試した土壌試料には、黒ボク土および褐色低地土ともに粒径2 mm以上の礫は含まれていなかった。

2) 分析方法

供試試料の全リン酸含量、形態別無機態リン酸含量、有機態リン酸含量および可給態リン酸含量を、それぞれ以下の方法により分析した。

全リン酸含量の分析は、土壌環境分析法に記載の方法(山崎, 1997)に準じて行った。風乾細土5 gをガラスビーカーに秤取し、濃硝酸5 mL、過塩素酸20 mLおよび濃硫酸1 mLを加え、時計皿でビーカーを蓋ってホットプレート上で加熱分解した。分解終了後、時計皿を取り去り、内容物がシロップ状になるまで徐々に温度を上げて、加熱濃縮を行った。放冷後、1 mol L⁻¹塩酸30 mLと熱水約50 mLを加え、急速に加熱して沸騰寸前まで温めた。上澄み液を定量ろ紙(ADVANTEC: No.6)を用いてろ過しながらメスフラスコへ移し、ビーカー内の残渣を少量の1 mol L⁻¹塩酸で数回、熱水で数回洗浄して同じメスフラスコに移した。放冷後、蒸留水で定容して分解液とした。分解液を蒸留水で10倍希釈し、ICP発光分析法(島津製作所: ICPS-8100)によりリン濃度を測定した。測定により得られたリン(P)濃度からリン酸(P₂O₅)量に換算した。操作は2連で行った。

形態別無機態リン酸含量の分析は、土壌養分分析法に記載の方法(関谷, 1970)に準じて行った。本法は、Chang and Jackson(1957)によって提唱された逐次抽出法を日本の黒ボク土に適用できるように改良したものであり、土壌リン酸を有機態と無機態に大別し、さらに無機態リン酸をCa型、Al型、Fe型へと区分している。Ca型リン酸はトルオーグ法で評価される可給態リン酸とほぼ同じ弱酸可溶のリン酸を意味し、Al型やFe型は作物に吸収され

ることが比較的困難な形態であると考えられている。ただし、これらCa型、Al型、Fe型の抽出区分は操作上定義されているだけであって、明確に存在形態を断定することはできないため、本研究では易溶性と難溶性の無機態リン酸を大まかに区分する方法として採用した。操作は2連で行った。

風乾細土1 gを250 mL容遠沈管に秤取し、2.5% (v/v)酢酸液100 mLを加えて2時間振とうした。振とう後、遠心分離(10,000 G, 10分間。以下同様)を行い、上澄み液を200 mL容メスフラスコに移した。次に、この遠沈管に1 mol L⁻¹塩化アンモニウム液50 mLを加え、5分間振とう後、遠心分離を行い、上澄み液を上記と同じ200 mL容メスフラスコに加えた。この操作を2回繰り返した後、蒸留水で定容した。定容後、定量ろ紙(ADVANTEC: No.6)を用いてろ過した。ろ液のリン酸濃度について、モリブデン青法を用いた比色法により分析し、Ca型リン酸含量を求めた。

次に、Ca型リン酸抽出後の遠沈管に残った土壌に1 mol L⁻¹フッ化アンモニウム液100 mLを加えて1時間振とうした。振とう後、遠心分離を行い、上澄み液を採取した。上澄み液のリン酸濃度について、モリブデン青法を用いた比色法により分析し、Al型リン酸含量を求めた。

Al型リン酸抽出後の遠沈管に残った土壌を飽和塩化ナトリウム液50 mLで2回洗浄し、洗液を捨てた。次に0.1 mol L⁻¹水酸化ナトリウム液100 mLを遠沈管に加えて17時間振とう後、遠心分離を行い、上澄み液を採取した。上澄み液が着色していたため、抽出液30 mLに濃硫酸を加えてpH2に調整し、腐植酸を沈殿させた。一晚静置後、定量ろ紙(ADVANTEC: No.6)を用いてろ過しながら50 mL容メスフラスコへ移し、pH2の希硫酸で洗浄しながら定容した。なお、原法ではFe型リン酸の抽出液をカーボンブラックで脱色すると記されているが、カーボンブラックは脱色と同時にリン酸を吸着してしまうおそれがあると判断したため、本研究では抽出液に濃硫酸を加えて腐植酸を沈殿させることで抽出液の脱色を行った。抽出液のリン酸濃度について、モリブデン青法を用いた比色法により分析し、Fe型リン酸含量を求めた。

有機態リン酸含量の分析は、焙焼法(Kou, 1996)に準じて行った。この方法は、土壌を焙焼して有機態リン酸を無機化した後に酸で抽出したリン酸と、焙焼過程を経由せずに抽出したリン酸との差をもって有機態リン酸とする方法である。風乾細土2 gを磁性るつぼに精秤し、電気マッフル炉(ADVANTEC: OPM-28S)に入れ、550°Cで4時間強熱した。放冷後、るつぼ内に残った灰分を250 mL容遠沈管に移した。また、灰化していない風乾細土2 gも別の250 mL容遠沈管に秤取した。それぞれの遠沈管に0.5 mol L⁻¹硫酸50 mLを加えて16時間振とう後、遠心分離を行い、上澄み液を採取した。上澄み液をメンブランフィルター(MILLIPORE: 孔径0.45 μm)を用いてろ過した。ろ液のリン酸濃度について、モリブデン青法を用いた比色

法により分析した。焙焼後の土壌から得られた抽出液のリン酸量より、風乾細土から得られた抽出液のリン酸量を差し引いて、有機態リン酸含量を算出した。

可給態リン酸含量は、トルオーグ法およびブレイ第二法を用いた定法により測定した(南條, 1997)。

3) 計算方法

上記の分析において得られた、供試土壌単位重量当たりの全リン酸含量、形態別無機態リン酸含量、有機態リン酸含量の結果と、溝田ら(2008)で報告された同じ供試土壌の仮比重の結果から容積当たりのリン酸含量を算出し、土壌採取深さを考慮して面積当たりのリン酸含量の比較を行った。さらに、溝田ら(2008)で報告された未耕地と農耕地の土壌断面における層厚差を考慮して、農耕地における作物生産と肥培管理による正味のリン酸蓄積量を評価した。

3. 結果および考察

1) 全リン酸含量および形態別リン酸含量

芽室、音更および幕別の各地点における、表層から深さ80 cm ないし100 cm までの供試土壌について、単位重量当たりの全リン酸含量、形態別無機態リン酸含量、有機態リン酸含量、および可給態リン酸含量の結果を、それぞれ表1、表2および表3に示した。

芽室の淡色黒ボク土における土壌単位重量当たりの全リン酸含量は、未耕地で0.59~1.50 g kg⁻¹の範囲であり、農耕地で0.67~3.62 g kg⁻¹の範囲であった(表1)。とくに農耕地の深さ0~40 cm において2.92~3.62 g kg⁻¹と多く、未耕地の同じ深さと比べると約2~4倍であった。Ca型リン酸含量は、未耕地および農耕地ともに少なく、未耕

表1 芽室地点(淡色黒ボク土)における未耕地土壌および農耕地土壌の全リン酸、形態別無機態リン酸、有機態リン酸、可給態リン酸含量

深さ (cm)	全リン酸 (g kg ⁻¹)	形態別無機態リン酸			有機態リン酸 (g kg ⁻¹)	可給態リン酸 (mg kg ⁻¹)	
		Ca型	Al型 (g kg ⁻¹)	Fe型		トルオーグ法	ブレイ第二法
未耕地土壌							
0~5	1.50	0.264	0.236	0.129	1.09	19.4	81.2
5~10	1.06	0.295	0.144	0.0892	0.716	17.1	37.4
10~15	0.808	0.115	0.127	0.0641	0.439	10.6	31.5
15~20	0.995	N.D.	0.182	0.0811	0.741	2.75	12.5
20~25	0.948	N.D.	0.197	0.0658	0.730	2.90	10.0
25~30	1.32	N.D.	0.296	0.119	0.881	3.31	11.7
30~35	1.23	N.D.	0.356	0.130	0.693	3.03	8.05
35~40	1.39	N.D.	0.426	0.151	0.669	3.36	16.6
40~45	1.28	N.D.	0.405	0.126	0.577	3.13	5.21
45~50	1.13	N.D.	0.323	0.126	0.493	3.18	8.14
50~55	0.930	N.D.	0.252	0.102	0.446	3.06	4.48
55~60	0.698	N.D.	0.175	0.0869	0.345	2.93	2.26
60~65	0.585	N.D.	0.150	0.0742	0.309	2.80	2.72
65~70	0.644	N.D.	0.166	0.0809	0.322	2.83	4.43
70~75	0.752	N.D.	0.184	0.100	0.345	2.90	6.85
75~80	0.761	N.D.	0.223	0.106	0.323	4.20	7.72
80~85	0.790	N.D.	0.220	0.110	0.316	4.20	8.00
85~90	0.916	N.D.	0.225	0.122	0.353	4.17	8.48
90~95	0.968	N.D.	0.303	0.151	0.303	2.95	13.1
95~100	1.06	N.D.	0.487	0.157	0.308	5.66	1.91
農耕地土壌							
0~5	3.62	0.104	2.18	0.495	0.714	131	560
5~10	2.97	0.0477	1.66	0.450	0.757	66.7	268
10~15	3.06	0.0501	1.76	0.451	0.658	74.3	287
15~20	2.93	0.0375	1.57	0.419	0.666	167	274
20~25	2.92	0.0400	1.64	0.409	0.624	74.3	305
25~30	3.12	0.0515	1.81	0.465	0.549	87.5	349
30~35	3.13	0.0466	1.81	0.456	0.716	77.7	370
35~40	3.11	0.0459	1.78	0.468	0.583	79.8	337
40~45	2.14	0.0188	1.07	0.343	0.536	35.4	190
45~50	1.30	0.0116	0.565	0.222	0.354	12.8	76.9
50~55	0.674	N.D.	0.147	0.101	0.235	2.93	12.4
55~60	0.691	N.D.	0.182	0.120	0.221	2.78	12.3
60~65	0.670	N.D.	0.224	0.134	0.171	2.78	13.2
65~70	0.794	N.D.	0.255	0.130	0.168	2.78	16.5
70~75	0.807	N.D.	0.275	0.135	0.176	2.75	14.7
75~80	0.685	N.D.	0.327	0.126	0.0834	2.70	10.4

リン酸含量はP₂O₅として表記した。N.D.は検出せず。

地の深さ 15 cm 以深および農耕地の深さ 50 cm 以深では検出されなかった。Al型リン酸含量は、農耕地深さ 0~40 cm において 1.5 g kg^{-1} 以上と多く、全リン酸含量の 54~60% を占めた。未耕地の同じ深さと比べると約 7 倍であった。Fe型リン酸含量も農耕地深さ 0~40 cm で 0.4 g kg^{-1} 以上と未耕地の同じ深さよりも多く、全リン酸含量の 14~15% を占めた。一方、有機態リン酸含量は未耕地と農耕地で無機態リン酸含量ほどの顕著な差はなかったが、未耕地深さ 0~40 cm で有機態リン酸含量が全リン酸含量の 48~72% を占めたのに対し、農耕地では 19~26% と有機態リン酸含量が占める割合が低かった。可給態リン酸

含量は、トルオーグ法およびブレイ第二法ともに農耕地深さ 0~40 cm において著しく多かった。ただし、北海道の普通畑土壌における可給態リン酸の土壌診断基準は、トルオーグ法で $100\sim 300 \text{ mg-P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ とされており（北海道農政部, 2002）、農耕地深さ 0~40 cm では大部分の試料で基準値を下回った。農耕地深さ 0~40 cm の土壌における全リン酸含量に占める可給態リン酸含量の割合は、トルオーグ法では 2.4~5.7%、ブレイ第二法では 9.0~15.5% の範囲であり、農耕地土壌における全リン酸含量の大部分は不可給態であると考えられた。北海道の野菜畑土壌について、施肥によるリン酸蓄積に伴う形態別リン酸の増減を

表2 音更地点（厚層黒ボク土）における未耕地土壌および農耕地土壌の全リン酸、形態別無機態リン酸、有機態リン酸、可給態リン酸含量

深さ (cm)	全リン酸 (g kg^{-1})	形態別無機態リン酸			有機態リン酸 (g kg^{-1})	可給態リン酸	
		Ca型	Al型 (g kg^{-1})	Fe型		トルオーグ法	ブレイ第二法 (mg kg^{-1})
未耕地土壌							
0~5	2.03	0.0544	0.153	0.109	1.81	16.5	30.0
5~10	1.77	0.0497	0.117	0.0975	1.58	16.4	29.4
10~15	1.91	0.0789	0.149	0.0982	1.65	24.5	42.5
15~20	2.22	0.0393	0.131	0.0947	2.07	12.7	21.8
20~25	3.35	0.0126	0.145	0.129	3.63	6.01	12.7
25~30	3.39	N.D.	0.135	0.122	3.74	8.79	7.20
30~35	2.67	N.D.	0.150	0.0933	2.93	4.32	5.65
35~40	3.52	N.D.	0.170	0.115	3.79	2.98	5.55
40~45	4.75	N.D.	0.199	0.125	5.23	5.96	10.3
45~50	5.33	N.D.	0.206	0.157	6.00	28.0	13.8
50~55	4.99	N.D.	0.206	0.163	5.51	4.55	11.4
55~60	4.73	N.D.	0.216	0.157	5.49	2.98	12.9
60~65	4.19	N.D.	0.249	0.156	4.27	5.86	20.8
65~70	3.62	N.D.	0.282	0.142	3.50	2.88	26.7
70~75	2.86	N.D.	0.293	0.150	2.82	2.88	36.4
75~80	2.00	N.D.	0.366	0.135	1.87	4.20	42.7
80~85	1.68	N.D.	0.363	0.142	1.37	4.17	43.9
85~90	1.57	N.D.	0.378	0.145	1.27	8.33	54.4
90~95	1.18	N.D.	0.296	0.160	0.713	5.51	87.7
95~100	1.02	N.D.	0.267	0.166	0.573	5.51	88.8
農耕地土壌							
0~5	7.97	0.879	3.32	0.829	3.34	457	1769
5~10	8.01	0.934	3.35	0.829	3.42	454	1814
10~15	8.28	1.20	3.77	0.906	3.34	526	1687
15~20	8.61	1.10	3.75	0.973	3.53	461	1782
20~25	8.03	0.829	3.35	0.926	3.74	394	1760
25~30	7.94	0.866	3.55	0.922	3.03	488	1796
30~35	5.85	0.462	1.85	0.630	3.58	255	979
35~40	4.05	0.0564	0.685	0.348	3.72	38.1	183
40~45	3.43	0.0136	0.196	0.218	3.00	29.0	82.2
45~50	2.66	N.D.	0.351	0.169	2.34	5.71	45.1
50~55	2.14	N.D.	0.335	0.179	1.72	11.4	53.1
55~60	1.97	N.D.	0.387	0.170	1.46	4.20	60.4
60~65	1.76	N.D.	0.346	0.191	1.15	4.17	61.6
65~70	1.56	N.D.	0.267	0.214	1.02	4.17	55.5
70~75	1.53	N.D.	0.249	0.225	0.978	4.13	47.9
75~80	1.35	N.D.	0.193	0.220	0.870	4.51	56.5
80~85	1.32	N.D.	0.190	0.232	0.764	4.70	59.5
85~90	1.06	N.D.	0.179	0.225	0.511	4.17	69.8
90~95	1.04	N.D.	0.177	0.209	0.487	8.33	49.4
95~100	0.968	N.D.	0.279	0.219	0.359	8.18	40.4

リン酸含量は P_2O_5 として表記した。N.D. は検出せず。

調べた結果では、火山性土におけるリン酸富化はA1型リン酸として増加し、その有効態割合が沖積土に比べて著しく低いことが報告されており(相馬, 1986), 本研究の芽室地点の農耕地土壌で認められた結果と符合した。

音更の厚層黒ボク土における土壌単位重量当たりの全リン酸含量は、未耕地で $1.02\sim 5.33\text{ g kg}^{-1}$ の範囲であり、農耕地で $0.97\sim 8.61\text{ g kg}^{-1}$ の範囲であった(表2)。未耕地土壌の全リン酸含量は、深さ40~65 cmで $4.19\sim 5.33\text{ g kg}^{-1}$ と多く、土壌断面では埋没腐植層(3A層および4A層)に相当する深さであり(溝田ら, 2008), その大部分が有機態リン酸であった。十勝地方の火山灰土壌では、未耕地

土壌に含まれるリン酸含量は、同一の火山灰層と比較すると、排水の悪い湿性火山灰土壌で排水の良い乾性火山灰土壌よりも多く、その約50%以上が有機態で占められることが報告されており(安田・斎藤, 1982), 本研究の芽室地点と音更地点の未耕地土壌で認められた結果と一致した。一方、農耕地土壌の全リン酸含量は、深さ0~30 cmで $7.94\sim 8.61\text{ g kg}^{-1}$ と著しく多く、土壌断面では作土層(Ap1層およびAp2層)に相当する深さであり(溝田ら, 2008), その42~45%がA1型リン酸, 38~47%が有機態リン酸であった。Ca型リン酸含量は、芽室の淡色黒ボク土と同様に未耕地および農耕地ともに少なく、未耕地の

表3 幕別地点(普通褐色低地土)における未耕地土壌および農耕地土壌の全リン酸, 形態別無機態リン酸, 有機態リン酸, 可給態リン酸含量

深さ (cm)	全リン酸 (g kg^{-1})	形態別無機態リン酸			有機態リン酸 (g kg^{-1})	可給態リン酸	
		Ca型 (g kg^{-1})	Al型 (g kg^{-1})	Fe型 (g kg^{-1})		トルオーグ法 (mg kg^{-1})	ブレイ第二法 (mg kg^{-1})
未耕地土壌							
0~5	2.04	0.138	0.184	0.308	1.43	58.8	158
5~10	1.92	0.132	0.175	0.257	1.37	62.5	120
10~15	1.79	0.108	0.153	0.265	1.39	59.7	114
15~20	1.62	0.0718	0.124	0.253	1.31	58.5	70.0
20~25	1.64	0.0466	0.0978	0.243	1.33	45.6	59.8
25~30	1.56	0.0336	0.102	0.226	1.33	40.5	47.4
30~35	1.54	0.0234	0.0892	0.221	1.35	29.0	42.5
35~40	1.56	0.0174	0.0790	0.211	1.34	22.4	31.5
40~45	1.49	0.0142	0.0714	0.195	1.28	19.9	34.2
45~50	1.24	0.00831	0.0556	0.171	1.07	17.3	25.3
50~55	0.930	0.00572	0.0459	0.150	0.784	13.4	20.7
55~60	0.740	0.0109	0.0530	0.143	0.545	17.3	32.5
60~65	0.702	0.0238	0.0683	0.135	0.452	24.9	36.0
65~70	0.661	0.0554	0.0864	0.131	0.374	44.2	60.8
70~75	0.754	0.0742	0.106	0.143	0.402	49.3	66.2
75~80	0.720	0.0825	0.111	0.141	0.340	58.2	72.3
80~85	0.718	0.121	0.118	0.116	0.237	73.4	105
85~90	0.697	0.109	0.113	0.110	0.204	72.1	111
90~95	0.771	0.0901	0.131	0.140	0.299	77.4	107
95~100	0.711	0.0874	0.116	0.124	0.254	72.2	94.6
農耕地土壌							
0~5	3.16	0.639	0.706	0.529	0.853	422	971
5~10	3.21	0.642	0.707	0.542	0.908	416	946
10~15	2.75	0.491	0.615	0.494	0.852	337	729
15~20	2.79	0.492	0.595	0.482	0.875	320	741
20~25	2.90	0.554	0.639	0.503	0.872	369	823
25~30	3.14	0.647	0.699	0.529	0.938	423	962
30~35	2.57	0.435	0.541	0.465	0.827	295	613
35~40	1.20	0.112	0.169	0.224	0.491	98.2	164
40~45	1.01	0.111	0.137	0.190	0.379	90.2	124
45~50	0.892	0.0972	0.130	0.148	0.297	79.9	117
50~55	0.850	0.356	0.116	0.126	0.206	88.6	116
55~60	0.765	0.335	0.103	0.104	0.152	76.8	101
60~65	0.847	0.356	0.103	0.132	0.199	89.7	110
65~70	0.848	0.291	0.106	0.132	0.207	88.5	111
70~75	0.809	0.287	0.0942	0.125	0.181	86.0	121
75~80	0.939	0.0929	0.128	0.188	0.380	62.1	82.2
80~85	1.06	0.0991	0.150	0.204	0.394	69.8	97.5
85~90	0.982	0.124	0.135	0.188	0.324	70.1	90.8
90~95	0.964	0.182	0.145	0.180	0.296	82.8	104
95~100	1.02	0.0900	0.140	0.223	0.442	68.8	78.4

リン酸含量は P_2O_5 として表記した。

深さ 25 cm 以深および農耕地の深さ 45 cm 以深では検出されなかった。Al 型リン酸含量は、農耕地深さ 0~30 cm で 3.3 g kg^{-1} 以上と多く、未耕地の同じ深さと比べると約 25 倍であった。Fe 型リン酸含量も農耕地深さ 0~30 cm で 0.8 g kg^{-1} 以上と未耕地の同じ深さよりも多く、全リン酸含量の 10~12% を占めた。可給態リン酸含量は、トルオーグ法およびブレイ第二法ともに農耕地深さ 45 cm 以深および未耕地では少なかったが、農耕地深さ 0~30 cm で著しく多かった。とくに、トルオーグ法による可給態リン酸含量は北海道の普通畑土壌における可給態リン酸の土壌診断基準を上回る値であり、農耕地土壌の可給態リン酸含量が増加している全国的な傾向と一致した(小原・中井, 2004)。芽室の淡色黒ボク土で作土層の可給態リン酸含量が土壌診断基準値を下回る試料が大部分であったのに対し、音更の厚層黒ボク土において作土層の可給態リン酸含量が基準値を大きく上回ったのは、後述するように同地点における肥培管理の影響や、リン酸蓄積に関する土壌コロイド成分の違いなどを反映した結果であると考えられた。

幕別の普通褐色低地土における土壌単位重量当たりの全リン酸含量は、未耕地で $0.66 \sim 2.04 \text{ g kg}^{-1}$ の範囲であり、農耕地で $0.77 \sim 3.21 \text{ g kg}^{-1}$ の範囲であった(表 3)。芽室や音更と同様に、農耕地の作土層 (Ap1 層および Ap2 層) に相当する深さ 0~35 cm において(溝田ら, 2008), $2.57 \sim 3.21 \text{ g kg}^{-1}$ と多かったが、未耕地の同じ深さと比べて全リン酸含量の差は小さかった。未耕地土壌の全リン酸含量は、表層から下層にかけて漸減する傾向を示し、深さ 0~60 cm では有機態リン酸が 70~88% と大部分を占めた。深さ 0~60 cm では、無機態リン酸含量が Fe 型 > Al 型 > Ca 型の順であったが、土壌断面で母材の不連続性が認められた深さ 80 cm 以深では(溝田ら, 2008), いずれの形態も同程度の割合を占めた。農耕地土壌の深さ 0~35 cm

では、有機態リン酸の占める割合が 27~32% と最も大きかったが、各形態別無機態リン酸もそれぞれが 17~22% と同程度の割合を占めた。他の 2 地点の黒ボク土では、農耕地土壌の表層における全リン酸含量に占める Al 型および Fe 型リン酸の割合が極めて大きかったが、幕別の褐色低地土では Ca 型リン酸含量も多く、後述するように、黒ボク土とはリン酸の蓄積形態や固定機構が異なることに起因すると考えられた(相馬, 1986)。可給態リン酸含量は、トルオーグ法およびブレイ第二法ともに農耕地深さ 35 cm 以深と未耕地では少なかったが、農耕地深さ 0~30 cm で著しく多かった。トルオーグ法による可給態リン酸含量は、音更の厚層黒ボク土と同様に、北海道の普通畑土壌における可給態リン酸の土壌診断基準を上回る値であった。

2) 容積当たりの全リン酸含量の垂直分布

各地点における未耕地土壌と農耕地土壌の仮比重および層厚差を考慮した土壌容積当たりの全リン酸含量の垂直分布を図 1 に示した。本研究で対象とした 3 地点における農耕地土壌では、整地作業や侵食などによる土壌の移動と減少、耕地化に伴う土壌有機物量の減少、大型農業機械による土壌の圧縮などにより、未耕地土壌よりも層厚が 20~45 cm 薄くなったと判断された(溝田ら, 2008)。

芽室の淡色黒ボク土では、未耕地と農耕地の土壌断面における層厚差が 25 cm であったため(溝田ら, 2008), 農耕地の全リン酸含量のグラフを 25 cm 下方に移動させ、未耕地の全リン酸含量とともに示した(図 1a)。農耕地における全リン酸含量は、プラウ耕により攪拌・混和された作土層 (Ap1 層, Ap2 層および Ap3 層) に相当する深さ 0~40 cm において未耕地よりも顕著に多く、 $2.84 \sim 3.16 \text{ kg m}^{-3}$ の範囲であった。農耕地の深さ 40~50 cm で急激に減少し、深さ 50 cm より下層では未耕地とほぼ同じか、やや少ない値を示した。

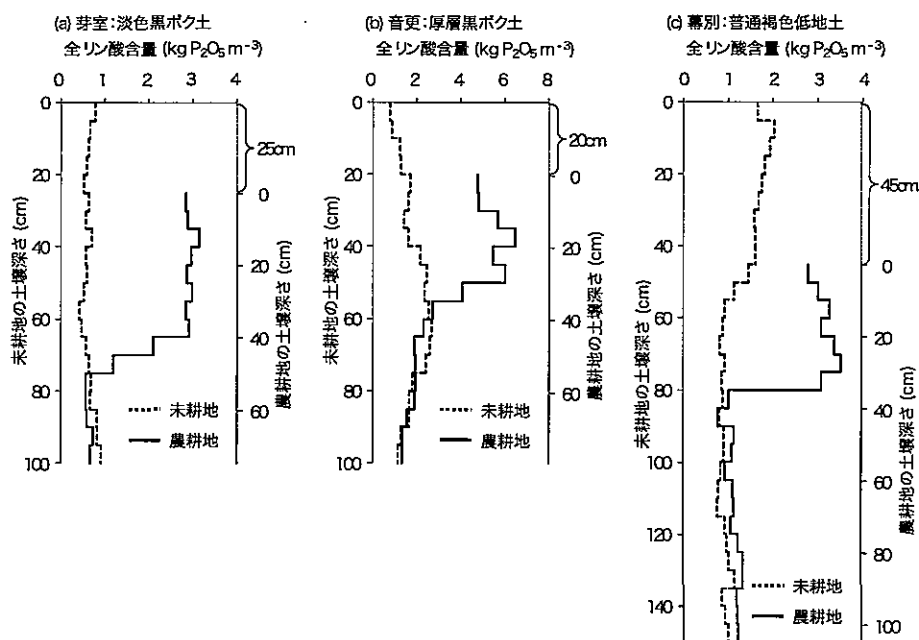


図 1 各地点における未耕地土壌と農耕地土壌の層厚差を考慮した土壌容積当たりの全リン酸含量の垂直分布

音更の厚層黒ボク土では、未耕地と農耕地の土壤断面における層厚差が20 cmであったため(溝田ら, 2008), 農耕地の全リン酸含量のグラフを20 cm下方に移動させ、未耕地の全リン酸含量とともに示した(図1b)。農耕地における全リン酸含量は、プラウ耕の影響を受けた作土層(Ap1層およびAp2層)に相当する深さ0~30 cmにおいて未耕地よりも顕著に多く、 $4.78\sim 6.50\text{ kg m}^{-3}$ の範囲であった。農耕地の深さ30~40 cmで急激に減少し、深さ40 cmより下層では未耕地とほぼ同じ値を示した。

芽室および音更の黒ボク土において、未耕地と農耕地の下層で土壤容積当たりの全リン酸含量がほぼ同じ値を示したことは、施肥や有機物投入などに由来する施肥リン酸のうち、作物に吸収されなかったリン酸、すなわち余剰リン酸の大部分が黒ボク土の作土層のみに蓄積し、下層へはほとんど溶脱していないことを示していると考えられた。北海道七飯町の果樹園および野菜畑の黒ボク土における全リン酸含量や形態別リン酸含量を調べた研究でも、施用されたリン酸は作土層に無機態リン酸として蓄積し、下層への移動はほとんど認められないと報告されている(農林水産技術会議事務局, 1991)。一方、北海道農業試験場(現在、北海道農業研究センター)の湿性火山灰土壌と乾性火山灰土壌における畑地および隣接する林地の全リン酸含量の比較では、畑地の作土層で林地の相当する層に比べて全リン酸含量が多いが、下層では林地が多いと報告されている(野中, 1991)。しかし、上記の報告では仮比重の違いや層厚差などが考慮されていないため、下層では林地の方が畑地よりも全リン酸含量が多いと結論付けることは問題がある。

幕別の褐色低地土では、未耕地と農耕地の土壤断面における層厚差が45 cmであったため(溝田ら, 2008), 農耕地の全リン酸含量のグラフを45 cm下方に移動させ、未耕地の全リン酸含量とともに示した(図1c)。農耕地における全リン酸含量は、黒ボク土と同様に作土層(Ap1層およびAp2層)に相当する深さ0~35 cmにおいて未耕地よりも顕著に多く、 $3.27\sim 4.12\text{ kg m}^{-3}$ の範囲であった。農耕地の深さ35~40 cmで急激に減少し、深さ40 cmより下層では未耕地とほぼ同じか、やや多い値を示した。未耕地の深さ100~150 cm, 農耕地の深さ55~105 cmにおいても、土壤容積当たりの全リン酸含量は農耕地が未耕地の対応する層よりも $0.15\sim 0.35\text{ kg m}^{-3}$ 多く、前述の黒ボク土とは異なり、余剰リン酸の下層への溶脱が生じていると考えられた。

本研究で対象とした農耕地土壤断面では、全リン酸含量はプラウ耕の影響を強く受けた表層30~40 cmまでの作土層において著しく多く、最表層だけではなく作土層全体に比較的均一に分布する結果が認められた。一方、草地では造成や更新後、耕起されることがなく、草地維持の追肥や堆肥ないしスラリーの散布は表層施用となるために、余剰リン酸が黒ボク土草地の表層、深さ0~5 cmに著しく蓄積することが報告されている(野中, 1991; 農林水産技術会議事務局, 1991)。十勝地域の普通畑では、栽培当年に

施肥され表層土壤に蓄積したリン酸が、収穫後のプラウ耕により物理的に攪拌および混和されることにより、それぞれの圃場における作土深まで分布していると考えられた。

3) 面積当たりのリン酸含量の比較と正味の蓄積量

各地点における未耕地土壌と農耕地土壌の層厚差を考慮し、農耕地土壌では作土深まで、未耕地土壌では相当する深さ(作土深+層厚差)までにおける面積当たりの全リン酸、形態別無機態リン酸、有機態リン酸含量を算出し、未耕地と農耕地の差を農耕地におけるリン酸の正味の蓄積量として表4に示した。

芽室の淡色黒ボク土では、農耕地の深さ0~40 cmの作土層に対応する未耕地の深さは0~65 cmであり、未耕地土壌における全リン酸の自然賦存量 3.88 Mg ha^{-1} に対し、農耕地土壌における全リン酸含量は 11.8 Mg ha^{-1} であり、正味の蓄積量は 7.87 Mg ha^{-1} であった。蓄積したリン酸の約91%をA1型リン酸とFe型リン酸が占め、とくにA1型リン酸の蓄積量は 5.82 Mg ha^{-1} と著しく多かった。同土壌では、酸性シュウ酸アンモニウム溶液可溶のアルミニウム量や鉄量が多く(溝田ら, 2008), 農耕地土壌からA1型リン酸として抽出される画分は、アロフェンなどの非晶質鉱物表面に特異吸着されたリン酸が、フッ化アンモニウム溶液による配位子交換反応により取り出されたものであると考えられた。一方、聞き取り調査から、芽室地点の農耕地は第二次世界大戦後に開拓され、約60年間にわたって畑作利用されてきたことを確認した。農耕地における正味のリン酸蓄積量を利用年数で割ると、年平均 131 kg ha^{-1} の蓄積量と見積もられた。帯広市および芽室町の農家における施肥実態調査では、4ないし5作物を輪作の1サイクルとすると、火山灰土壌において1作(1年)平均 $160\sim 230\text{ kg ha}^{-1}$ のリン酸が施肥されている(安田・斎藤, 1982)。近年は全体的に増肥傾向にあるが(十勝管内土壌診断事業推進協議会, 2002), 年間のリン酸施肥量を平均 200 kg ha^{-1} と仮定すると、施肥リン酸量の少なくとも約65%が作物に利用されずに土壌へ蓄積していると考えられた。

音更の厚層黒ボク土では、農耕地の深さ0~30 cmの作土層に対応する未耕地の深さは0~50 cmであり、未耕地土壌における全リン酸の自然賦存量 7.59 Mg ha^{-1} に対し、農耕地土壌における全リン酸含量は 16.7 Mg ha^{-1} であり、正味の蓄積量は 9.07 Mg ha^{-1} であった。芽室の淡色黒ボク土と同様に、A1型リン酸の蓄積量が 6.83 Mg ha^{-1} と最も多かったが、淡色黒ボク土とは異なり、Ca型リン酸も 1.92 Mg ha^{-1} 増加し、有機態リン酸がやや減少した。同土壌では、酸性シュウ酸アンモニウム溶液可溶のアルミニウム量や鉄量とともに、ピロリン酸ナトリウム溶液可溶のアルミニウム量や鉄量も多く(溝田ら, 2008), アロフェンなどの非晶質鉱物だけではなく、Al/Fe-腐植複合体などのコロイド成分もリン酸吸着に関与していると考えられた。一方、聞き取り調査から、音更地点の農耕地は第二次世界大戦後に開拓され、約55年間にわたって畑作利用されてき

表4 各地点における未耕地土壌と農耕地土壌の層厚差を考慮した面積当たりの全リン酸、形態別無機態リン酸、有機態リン酸含量、および未耕地と農耕地との差

	深さ (cm)	全リン酸	形態別無機態リン酸			有機態リン酸
			Ca型	Al型	Fe型	
芽室 (淡色黒ボク土)						
未耕地土壌	0~65	3.88	0.21	0.90	0.38	2.29
農耕地土壌	0~40	11.8	0.20	6.72	1.71	2.50
差	-	7.87	-0.01	5.82	1.34	0.22
音更 (厚層黒ボク土)						
未耕地土壌	0~50	7.59	0.06	0.39	0.28	7.93
農耕地土壌	0~30	16.7	1.98	7.21	1.84	6.94
差	-	9.07	1.92	6.83	1.56	-0.99
幕別 (普通褐色低地土)						
未耕地土壌	0~80	11.5	0.46	0.89	1.77	8.81
農耕地土壌	0~35	13.1	2.48	2.88	2.27	3.94
差	-	1.66	2.02	1.99	0.51	-4.87

リン酸は P_2O_5 として表記した。差は農耕地土壌の値から未耕地土壌の値を差し引いて算出した。

たことを確認した。農耕地における正味のリン酸蓄積量を利用年数で割ると、年平均 165 kg ha^{-1} の蓄積量と見積もられた。大雪山系の扇状地帯に位置する本地域では、伏流水の影響により地温が上がりやすく、かつリン酸吸収係数が極めて高い腐植質火山灰層を有する不良土である「塩土 (ろど)」が生成する環境下にあるため、過去に熔成燐肥や過リン酸石灰などの大量施用を伴う土地改良事業が行われてきた (北海道開発局, 1979)。その影響も相まって、農耕地作土層のリン酸蓄積量が多くなり、特異吸着された Al 型リン酸だけではなく、その一部が弱酸可溶の Ca 型リン酸として蓄積したと考えられた。

幕別の褐色低地土では、農耕地の深さ 0~35 cm の作土層に対応する未耕地の深さは 0~80 cm であり、未耕地土壌における全リン酸の自然賦存量 11.5 Mg ha^{-1} に対し、農耕地土壌における全リン酸含量は 13.1 Mg ha^{-1} であり、正味の蓄積量は 1.66 Mg ha^{-1} と黒ボク土に比べて顕著に少なかった。一方、聞き取り調査から、幕別地点の農耕地は開墾されてから約 85 年が経過していることを確認した。農耕地における正味のリン酸蓄積量を利用年数で割ると、年平均 20 kg ha^{-1} の蓄積量と見積もられた。同土壌では、作土層のリン酸吸収係数が約 700 と黒ボク土と比べて低く、酸性シュウ酸アンモニウム溶液可溶のアルミニウム量や鉄量も少ないことから (溝田ら, 2008)、リン酸吸着に関与する土壌コロイド成分が少ないと判断された。そのため、低地土に対する年間のリン酸施肥量が黒ボク土よりも少なく (北海道農政部, 2002)、しかも余剰リン酸の一部が下層へ溶脱することにより、同地点の農耕地における正味のリン酸蓄積量が黒ボク土と比較して極めて少なかったと考えられた。さらに、幕別地点の圃場には緩やかな起伏があり、断面調査は凸型緩斜面頂上部付近にて行った (溝田ら, 2008)。頂上部では、風食および水食などの侵食を受けやすく、本研究で対象とした農耕地では、侵食による土壌の移動や減少が著しく生じたことにより、農耕地における正味のリン酸蓄積量が少なく見積もられた一因であると考え

られた。褐色低地土の農耕地では、未耕地と比べて Ca 型リン酸や Al 型リン酸などの無機態リン酸が増加し、有機態リン酸が著しく減少した。北海道の沖積土の野菜畑では、リン酸施肥により人為的に富化されたリン酸が、Ca 型 > Al 型 > Fe 型の順に増加することが報告されている (相馬, 1986)。また、細粒質灰色低地土の水田転換畑において、リン酸集積の増加に伴って Ca 型リン酸が増加し、Al 型や Fe 型リン酸の増加量は少ないことが報告されている (桑名ら, 1992)。幕別の農耕地作土層では、トルオーグ法やブレイ第二法で分析した可給態リン酸含量が多く、弱酸可溶のリン酸水素カルシウムや、弱い配位子交換反応で抽出可能な非晶質リン酸アルミニウムなどの沈殿として蓄積していると考えられた。

4. 要 約

本研究では、十勝地域の農耕地、とくに普通畑土壌における肥培管理などが土壌へのリン酸蓄積量とその形態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。畑地および隣接する未耕地において土壌断面調査と試料採取を行い、土壌中の全リン酸含量および各種形態別リン酸含量の垂直分布を調べた。さらに、仮比重および未耕地と農耕地における土壌の層厚差を考慮し、正味のリン酸蓄積量を調べた。

1) 淡色黒ボク土、厚層黒ボク土、および普通褐色低地土のいずれの農耕地土壌においても、施肥などに由来する余剰リン酸は耕起の影響を受けた表層 30~40 cm までの作土層に蓄積し、物理的に攪拌および混和されることにより作土層全体に比較的均一に分布した。

2) 未耕地土壌との垂直分布の比較から、黒ボク土では余剰リン酸が下層へ溶脱せず作土層にのみ蓄積し、褐色低地土では一部が下層へ溶脱していると考えられた。

3) 農耕地における正味のリン酸蓄積量は、黒ボク土で著しく多く、年平均 130 kg ha^{-1} 以上であった。大部分は、フッ化物イオンの配位子交換能により抽出され、活性アルミニウムなどに特異吸着されていると考えられた。褐色低

地土では蓄積量が少なく、弱酸可溶のリン酸水素カルシウムや、弱い配位子交換反応で抽出可能な非晶質リン酸アルミニウムなどの沈殿として蓄積していると考えられた。

文 献

- 足立嗣雄 1971. 黒ボク土の分布面積と腐植含量について. 土肥誌, 42, 309-313.
- 安藤淳平 1983. リン資源の将来とわが国の進むべき方向. 土肥誌, 54, 164-169.
- Armand, B., and Black, A. L. 1981. Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and virgin grassland. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 1166-1170.
- Blank, R. R., and Fosberg, M. A. 1989. Cultivated and adjacent virgin soils in northcentral South Dakota: I. Chemical and physical comparisons. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53, 1484-1490.
- Chang, S. C., and Jackson, M. L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, 84, 133-144.
- 後藤茂子・茅野充男・山岸順子・熊澤喜久雄 1997. 下水汚泥コンポストの長期連用に伴う重金属の土壌への蓄積. 土肥誌, 68, 156-162.
- 後藤茂子・林 浩昭・山岸順子・米山忠克・茅野充男 2002. 下水汚泥コンポストの長期連用に伴う重金属の土壌への蓄積と水平方向への移行. 土肥誌, 73, 391-396.
- Higuchi, T., and Kashiwagi, S. 1993. Changes of soil morphological characteristics and organic matter content after long-term cultivation in Andisols on the Musashino plateau, Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 39, 87-97.
- 日向 進 1981. 山梨県勝沼地方におけるブドウ園土壌の蓄積銅の実態について. 土肥誌, 52, 347-355.
- 北海道開発局 1979. 畑土地開発方式調査. 北海道の特殊土壌-生成, 分布と土地改良-, p. 154-206. 北海道開発局, 札幌.
- 北海道農政部 2002. 北海道施肥ガイド, p. 57-58. 北海道農政部道産食品安全室, 札幌.
- 加藤秀正・岡 紀邦・本島俊明 1985. タマネギ畑土壌のリン酸の蓄積量. 土肥誌, 56, 279-284.
- 加藤 保 2003. 有機物施用を中心とした土壌管理による土壌への炭素蓄積-愛知県における調査成績から-. 土肥誌, 74, 99-104.
- Kou, S. 1996. Phosphorus. In D.L. Sparks *et al.* (ed.) *Methods of soil analysis, Part 3-Chemical methods*, p. 869-919. SSSA, Madison.
- 黒田章夫・滝口 昇・加藤純一・大竹久夫 2005. リン資源枯渇の危機予測とそれに対応したリン有効利用技術開発. 環境バイオテクノロジー誌, 4, 87-94.
- 桑名健夫・南條正巳・秋山 豊 1992. 明石川沖積土における集積リンの形態とその沈殿溶解平衡. 土肥誌, 63, 605-609.
- 宮沢数雄 1980. 十勝における各種火山灰土壌のリン酸蓄積水準と畑作物の生育. 北海道農試研報, 126, 1-30.
- 溝田千尋・谷 昌幸・李 香珍・相内大吾・丹羽勝久・小池正徳・倉持勝久 2008. 十勝地域の未耕地および農耕地における土壌断面形態と層厚の相違. ベドロジスト, 52, 19-34.
- 中津智史・田村 元 2008. 30年間の有機物(牛ふんバーク堆肥および収穫残さ)連用が北海道の淡色黒ボク土の全炭素, 全窒素および物理性に及ぼす影響. 土肥誌, 79, 139-145.
- 南條正巳 1997. 可給態リン酸. 土壌環境分析法編集委員会編・土壌環境分析法, p. 267-273. 博友社, 東京.
- 西尾道徳 2005. 農業と環境汚染, p. 50-51. 農文協, 東京.
- 農耕地土壌分類委員会 1995. 農耕地土壌分類第3次改定版, 農業環境技術研究所資料第17号. 農業環境技術研究所, つくば.
- 野中昌法 1991. 我が国の各種土壌中の無機態, 有機態リンの集積とその挙動. 新潟大学農学部紀要, 28, 1-103.
- 農林水産技術会議事務局 1991. 土壌蓄積リンの再生循環利用技術の開発. 研究成果259, p. 11-60.
- 小原 洋・中井 信 2004. 農耕地土壌の可給態リン酸の全国的変動-農耕地土壌の特性変動(II)-. 土肥誌, 75, 59-67.
- 岡本 保 2000. 石灰系下水汚泥の長期連用により土壌に蓄積する重金属の存在形態と挙動. 土肥誌, 71, 231-242.
- 大島宏行・後藤逸男 2008. 茨城県内の小玉スイカ栽培ハウス土壌におけるリン酸蓄積の実態. 土肥誌, 79, 263-271.
- Rodríguez, H., and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17, 319-339.
- 関谷宏三 1970. 無機態リン酸の分別定量法. 土壌養分測定法委員会編・土壌養分分析法, p. 235-238. 養賢堂, 東京.
- 相馬 暁 1986. 北海道における野菜畑土壌の現状と各種野菜の特性に対応した肥培管理法. 北海道立農試報告, 56, 1-126.
- 十勝管内土壌診断事業推進協議会 2002. 十勝畑作地帯における施肥の実態. 十勝管内土壌診断事業推進協議会・北海道立十勝農業試験場・十勝農業協同組合連合会, 帯広.
- 山崎慎一 1997. 全量分析分析法. 土壌環境分析法編集委員会編・土壌環境分析法, p. 278-288. 博友社, 東京.
- 安田 環・斎藤元也 1982. 十勝火山灰土壌におけるリン酸蓄積と可給性について. 北海道農試研報, 133, 7-15.
- 吉池昭夫 1983. 農耕地における施用リン酸の蓄積について. 土肥誌, 54, 255-261.

Vertical distribution and accumulation of phosphate in virgin soils and arable soils of Tokachi district, Hokkaido

Masayuki TANI¹, Chihiro MIZOTA^{2,3}, Tetsuo YAGI^{2,4}, Taku KATO¹ and Masanori KOIKE¹

¹Department of Agro-Environmental Science, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine,

²Graduate School of Agriculture, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine,

³Present address: Morita Holdings Corp.,

⁴Present address: Hokkaido Research Organization Konsen Agricultural Experiment Station

Heavy application of phosphate fertilizer and subsequent phosphate accumulation in arable soils, especially Andosols, are critical issues for sustainable agriculture in Japan. The effects of fertilization and plant nutrient management on phosphate accumulation and its speciation in uncultivated virgin soils and cultivated upland soils of Tokachi district, Hokkaido, were investigated. Three pairs of virgin and arable soil profiles were collected from adjacent sites to evaluate the vertical distribution of total, sequentially extractable, and available phosphates in the soils. Net accumulated amounts of phosphate in the arable soils were calculated while accounting for bulk density and differences in the thickness of layers between upland and adjacent

virgin soils. In soils classified as Low-humic Andosols (Typic Hapludands), Cumulic Andosols (Pachic Melanudands), and Haplic Brown Lowland soils (Fluventic Dystrudepts), surplus phosphates were accumulated at depths of 0~40, 0~30, and 0~35 cm, respectively, of the arable soil profiles. Phosphates were distributed homogeneously in the plow layer due to physical disturbance and mixing. The vertical distributions of phosphate in the paired virgin and arable soils indicated that most of the surplus phosphate accumulated without leaching in the plow layer of the Andosols, whereas some surplus phosphate leached out from the surface layer of the Brown Lowland soils. Net accumulated amounts of phosphate in the cultivated Andosols were remarkably large, with estimated annual accumulation rates of $>130 \text{ kg ha}^{-1}$. Most of the accumulated phosphate may be specifically adsorbed by active aluminum and iron, which could be extracted by fluoride through a strong ligand-exchange reaction. The net accumulated phosphate in the cultivated Lowland soil was relatively small. Most of the phosphate may accumulate through precipitation processes as calcium hydrogen phosphate and amorphous aluminum phosphate, which could be dissolved by weak acids and extracted by a weak ligand-exchange reaction, respectively.

Key words: Andosols, Brown Lowland soils, soil thickness, phosphate accumulation, vertical distribution

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 81, 350–359, 2010)