

北海道網走東部地域における火砕流堆積物に含まれるアパタイトリン酸の評価とその農業利用

中丸康夫*・斉藤鷹一**・小林宏之*・加藤木俊介*・栗原祐一*・
佐藤和実*・田淵博之*・二谷慎亮*・小松輝行*

(平成 20 年 3 月 17 日受付/平成 20 年 7 月 17 日受理)

要約：北海道網走地域では、ほぼ全域に火山放出物である屈斜路火砕流堆積物が分布している。同地域において、大規模畑作圃場の多くが、基盤整備事業において均平化のための地形修正を受けた結果、作土下にこの火砕流堆積物からなる下層土を持つことが知られている。この火砕流層は、作物根の下層土への発達を阻害するため生産性を向上する上で問題となっている。しかし一方で、火山放出物の多くはリン鉱物であるアパタイトを含むことから、この火砕流層は潜在的なリン資源としても期待できる。そこで、網走市東部の地形修正を受けた圃場、および同地域内の自然林下から採取された火砕流堆積物について、リン酸の化学形態を調査し、リン資源としての評価を行なった。同時に、圃場においてこの火砕流層と作土とを全層混合することにより、リン酸肥沃度を向上しうることについて、テンサイ栽培試験により検討した。その結果、網走地域の火砕流堆積物中にはアパタイト形態のリン酸が 400–1000 mg P₂O₅ kg⁻¹ 程度含まれ、このうち 70–170 mg P₂O₅ kg⁻¹ 程度が可給態リン酸として評価された。このリン酸量は北海道のリン酸肥沃度改良目標値に匹敵する。この火砕流層を作土と全層混合することにより、テンサイのリン酸吸収量は 50% 増加し、糖収量も 30% 増加したことから、網走地域の火砕流堆積物は農業上有用なリン資源として活用できると考えられる。

キーワード：地形修正, 火砕流堆積物, 下層土, リン, アパタイト

1. はじめに

大規模畑作農業の行われる北海道地方では、基盤整備事業として、改良山成工¹⁾による農地造成が行われた結果、圃場の土壌断面形態がきわめて不連続な状態となる場合がある^{1,2)}。特に粗粒質の火山性土壌が広く分布する道東地域においては、この改良山成工の影響により、下層土(心土)に砂質の火山放出物を含む場合が少なくない²⁾。網走地域においては、市内東部地域のほぼ全域が火山砕屑物である屈斜路火砕流の未風化で緊密な堆積物(約 30000 年前に堆積³⁾)に覆われており⁴⁾、地形修正によりこの火砕流が心土として出現する圃場(地形修正畑)では、テンサイ、コムギの収量性が低いことも報告されている⁵⁾。その原因として下層土への根系発達への阻害が指摘され^{6–9)}、こうした地形修正畑の土壌改良は、同地域において重要な農業課題となっている。

しかしながら一方で、火山放出物にはリン鉱物であるアパタイトが含まれる場合がある^{10,11)}。フィリピン・ピナツポ火山火砕流堆積物¹²⁾や雲仙普賢岳の火砕流¹³⁾について、アパタイトの存在が報告されている。このアパタイトは Ca 型リン酸であり、土壌の酸性化により可給化する¹²⁾。ま

た一部のマメ科植物は根からキレート能を持つ有機酸を分泌することにより、火砕流堆積物中のアパタイトリン酸を可給化し、利用した¹⁴⁾という報告もある。そこで、この屈斜路火砕流も、リン酸の給源として積極的に活用し、農業改良に役立てることができるのではないかと考え、網走地域に分布する屈斜路火砕流堆積物と、地形修正畑の心土として存在する火砕流層(以下火砕流下層土と略称)について、リン酸の量と存在形態とを評価した。著者らは既往の研究において、網走市東部地域の音根内地区第 24 営農集団について、火砕流層が心土に出現する圃場の分布図(下層土マップ)を作成しており¹⁵⁾、これにより調査対象圃場を選定した。また、調査対象圃場近隣の森林植生下の露頭断面から採取した屈斜路火砕流堆積物と鉱物学的な性質、特にリン鉱物の風化と存在形態を異にする Al 型リン酸、Fe 型リン酸、Ca 型リン酸(アパタイト)との関係について比較を行った。

心土火砕流中のアパタイトリン酸を利用するためには、火砕流層への作物の根系分布を改善する必要がある。道東地域の地形修正畑において、下層の火砕流層への根系発達が阻害される理由としては、30000 年を超える堆積期間により、火砕流層の固相率が非常に高く、孔隙率が低いこ

* 東京農業大学生物産業学部生物生産学科

** 現在東京カネカ食品株式会社

と^{2,3)}が考えられる。また、九州の火山性土について、砂礫質のテフラを含む土層が乾燥により収縮して非常に硬くなることも報告されている¹⁶⁾。そこでこうした問題の解決策についても検討を行った。土壌物理性の改良手法として、ナガイモなどの根菜を栽培する際に用いられるトレンチャー（写真1）によって、部分的に作土と火砕流層を深さ1 m まで全層混合することにより、土壌の団粒化を促進



写真1 ゴボウ、ナガイモ栽培に使用されるトレンチャー

し、根系発達を改善しうるか、またテンサイ根系によりアパタイトリン酸が利用されうるか否かについて、テンサイの圃場試験により検討した。

2. 材料と方法

1) 土壌試料の採取

網走市東部淡色黒ボク土地帯に位置する、音根内第24 営農集団について、火砕流層が心土として出現する典型的な地形修正畑と、地形修正の影響の少ない「既畑」の代表圃場を選定した。この営農集団とは、農家11 戸で農業機械を共有、一元的に営農管理を行ない、農家ごとの営農面積に比例して収益を分配するシステムであり、当営農集団の農地の総面積は349 ha である¹⁵⁾。図1 に代表圃場の位置を記載した下層土マップを示した。火砕流下層土が地表下1 m 以内に出現する圃場3 圃場（地形修正畑、圃場No. 1~3）および火砕流層の出現しない圃場3 圃場（既畑、圃場No. 4~6）を選定した。各圃場からオーガを用いて土壌を深度別に採取した（0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm）。

また、屈斜路火砕流堆積物と、地形修正畑にみられる火砕流下層土の化学的特性を比較し、火砕流下層土の鉱物学的性質を調査するために、網走第24 営農集団内に存在する屈斜路火砕流の露頭（写真2）より、火砕流堆積物およびその上部構造の森林（トドマツ）土壌を採取した。露頭断面内の土壌層位は土色や物理性により、10 層位に分割して採取した。

以上の試料は2 週間風乾後、2 mm の篩で篩別し、以下の分析に供した。

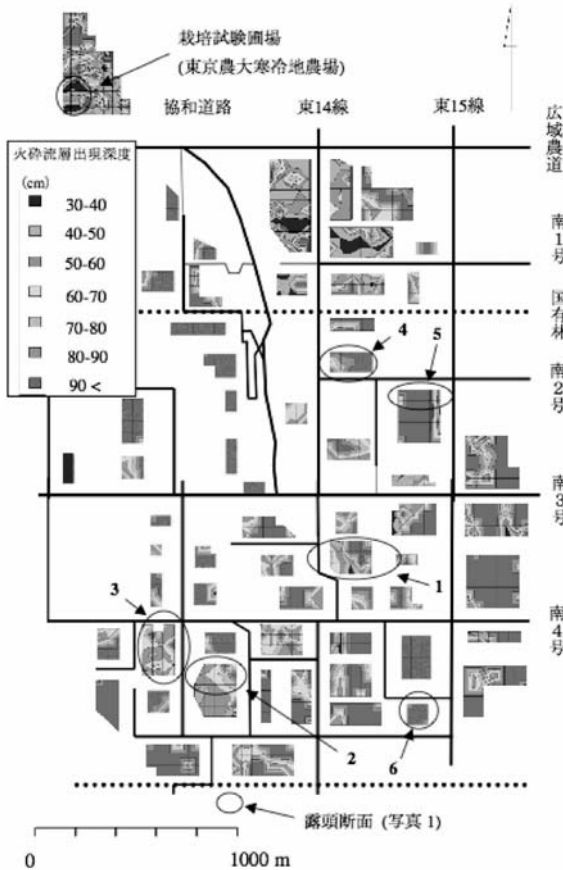


図1 網走第24 営農集団火砕流下層土出現深度分布図（2006 年）
注）図中の番号は土壌試料を採取した代表圃場を示す（図中1~3 は地形修正畑, 4~6 は既畑の代表的圃場）。

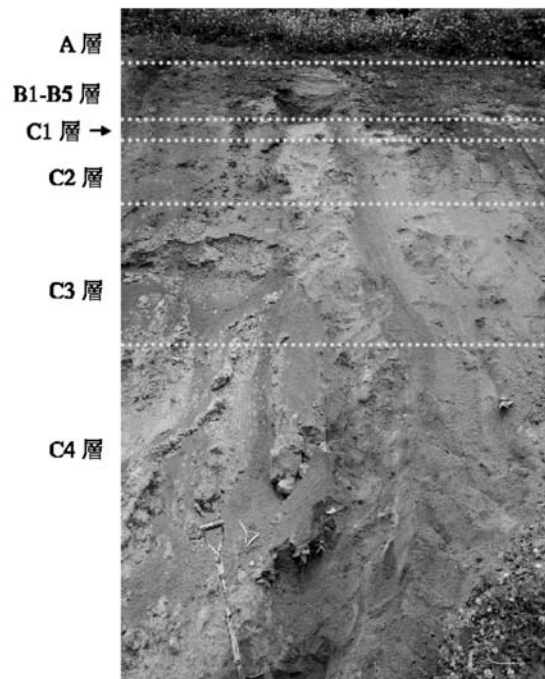


写真2 第24 営農集団内の屈斜路火砕流露頭断面
注）図中点線は層位の境界を示す。

2) 一般化学性の分析

採取した土壌試料について、一般化学性として、pH (H₂O)、陽イオン交換容量 (CEC)¹⁷⁾、交換性陽イオン (Ca, Mg, Na, K)¹⁷⁾ 含量を測定した。

3) リン酸の形態別定量

各採取試料について、可給態リン酸含量をトルオグ法¹⁸⁾により評価した。さらに Chang and Jackson 法¹⁹⁾により、リン酸の形態別連続溶解逐次抽出を行った。Al 型リン酸 (Al-P) について、中性 0.5 N NH₄F により抽出を行った後、土壌は飽和 NaCl により 2 回洗浄し、次いで 0.1 N NaOH により Fe 型リン酸 (Fe-P) を抽出した。同様に NaCl により洗浄を行った後、0.5 N H₂SO₄ により Ca 型リン酸 (Ca-P) を抽出した。

4) 試料の鉱物学的性質および風化程度の評価

各採取試料について、酸性シュウ酸塩可溶 Al, Fe および Si 含量¹⁸⁾を測定することにより、風化程度および非(準)晶質ケイ酸アルミニウム含量の評価を行った。

5) 地形修正畑における根系発達の改善方策の検討

2007 年に、東京農業大学網走寒冷地農場において、テンサイの栽培試験を行った。同農場も、前述の土壌調査の対象地域である音根内第 24 営農集団の構成員である (図 1)。当該試験圃場は地形修正畑であり、深度 40 cm 付近で火砕流層が出現する、浅根性の圃場である。同圃場内において、2 年前にナガイモが作付され、トレンチャーにより部分的に深さ 1 m まで全層混合された区画 (以下混層区と略称) とナガイモの栽培歴のない区画 (対照区) について、テンサイの収量、根系の垂直分布および、リン酸吸収量を調査した。根系の分布調査はテンサイの収穫期に深さ 1 m 幅 1 m の調査坑を掘り、垂直断面内の根系をビニルシートにトレスして行った。

3. 結果と考察

1) 網走第 24 営農集団における地形修正畑と既畑の土壌化学性の比較

表 1 に第 24 集団内の地形修正畑 3 圃場および既畑 3 圃場について、土壌の一般化学性を示した。地形修正畑の火砕流下層土においては、3 圃場ともに作土 (0-40 cm) および既畑の下層土に比べ陽イオン交換容量 (CEC) が明らかに低い。これは火砕流が砂質であり、粘土鉱物が少ないことに起因する。交換性陽イオン含量も、全体的に作土や既畑下層土に比べ、火砕流下層土で少ない傾向にあった。しかしながら、CEC が作土よりも低いことから、相対的に塩基飽和度は高くなり、pH も高くなる傾向であった。

2) 火砕流堆積物の形態別リン酸含量

表 2 および表 3 に、採取試料中の形態別リン酸含量を示した。第 24 営農集団内の代表圃場 6 地点における、可給態リン酸含量は作土 (0-20 cm) において未耕地露頭断面の A 層における値 (86 mg P₂O₅ kg⁻¹) と比較した場合、104-

443 mg P₂O₅ kg⁻¹ と高い傾向にあった。これはリン酸施肥により表層土壌にリン酸が集積しているためと考えられる。しかしながら、地形修正畑 (圃場 No. 1-3) については、火砕流下層土においても、既畑 (圃場 No. 4-6) に比べ、67-140 mg P₂O₅ kg⁻¹ と高い値が示された。未耕地である露頭断面から採取された試料についても、火砕流層である C1-C4 層において、C1 層を除き可給態リン酸が 100 mg P₂O₅ kg⁻¹ を上回る高レベルにあったことから、網走地域の火砕流堆積物中の可給態リン酸含量は一般に高いものとみられる。

Chang and Jackson 法¹⁹⁾により各試料中の形態別リン酸含量を評価した結果、代表 6 圃場や露頭断面における、A 層中の土壌中リン酸は Al-P と Fe-P が主体であるのに対し、火砕流下層土や露頭断面の C1-C4 層におけるリン酸の多くは Ca-P であることが示された (表 2, 表 3)。地形修正畑の火砕流下層土の Ca-P は 600-1000 mg P₂O₅ kg⁻¹ (表 2)、露頭断面における C1-C4 層中の Ca-P は 400-700 mg P₂O₅ kg⁻¹ (表 3) とほぼ同程度の値の範囲にあった。これに対し Al-P は 3-60 mg P₂O₅ kg⁻¹、Fe-P は 3-40 mg P₂O₅ kg⁻¹ と Ca-P の 10 分の 1 程度の値であった。この結果から、地形修正畑の心土および屈斜路未風化火砕流堆積物中の可給態リン酸はアパタイト起源のものであると考えられる。

火砕流堆積物に含まれるリン酸についての既往の報告によれば、トルオグ法による可給態リン酸が雲仙普賢岳の火砕流には 30-50 mg P₂O₅ kg⁻¹¹³⁾、フィリピン・ピナツポ火山の火砕流堆積物については 200 mg P₂O₅ kg⁻¹ 程度含まれ^{12,14)}、これらはアパタイト起源であると評価される。本報告における屈斜路火砕流堆積物中の可給態リン酸もこれらと同程度の量で存在した。地形修正畑においては、下層の火砕流堆積物により根系の発達が阻害されることから⁵⁻⁸⁾、このアパタイトリン酸はこれまでに植物により利用される機会が少なかったものとみられる。リン鉱物は有限な地下資源であることから、今後こうした火山放出物由来のリン酸の有効活用は、世界的にも重要な課題になるとみられる。

3) 第 24 営農集団内の土壌における形態別リン酸含量と酸性シュウ酸塩可溶 Al, Fe, Si との関係

酸性シュウ酸塩可溶 Al, Fe, Si (Alo, Feo, Sio) 含量は全ての圃場および露頭断面において、土壌の表層ほど高い値を示しており、それに対応して Al-P および Fe-P 含量も表層ほど増加する傾向が見られた (表 2, 表 3)。また、圃場から採取した土壌について、土壌の表層 0-40 cm までは Al-P 含量が Fe-P 含量に比べ量的には 2-3 倍程度多く、表層土壌の Alo および Feo の比率と一致した傾向を示した。従って土壌の表層においては、施肥されたリン酸の多くは Alo および Feo として評価されるアロフェン等の活性 Al や活性 Fe と反応し、Al-P や Fe-P となっていたものとみられる。図 2 に Al-P および Fe-P 含量と Alo および Feo 含量との相関を示した。全体的に Al-P 含量と Alo 含量との相関は Fe-P 含量と Feo 含量との相関に比べ高い傾向にあった。第 24 営農集団のある網走市東部は淡色黒ボク土

表 1 地形修正畑 (1~3) および既畑 (4~6) の代表圃場における土壌の化学性

調査圃場	土壌採取深度 (cm)	交換性陽イオン含量 (cmol _c kg ⁻¹)				pH (H ₂ O)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	塩基飽和度 (%)
		Ca	Mg	K	Na			
圃場 1	0-20	6.6	4.8	1.5	0.38	6.1	16	83
	20-40	7	5.6	1.7	0.36	6.0	17	86
	40-60 (火砕流)	5.8	6	1.9	1.8	6.7	14	111
	60-80 (火砕流)	4.6	4.2	1.3	1.5	6.6	11	105
	80-100 (火砕流)	5.6	4.4	1.2	1.4	6.6	13	97
圃場 2	0-20	5.4	3.2	1	0.21	5.8	16	61
	20-40	5.8	3.2	1.1	0.24	5.7	16	65
	40-60	4.6	2.8	0.63	0.34	6.1	12	70
	60-80 (火砕流)	3.8	3	0.59	0.4	6.2	9	87
	80-100 (火砕流)	2.8	2.2	0.55	0.42	6.4	7	85
圃場 3	0-20	6.2	1.2	1.2	0.23	5.9	17	52
	20-40	6.2	1.2	1.2	0.26	5.8	16	55
	40-60 (火砕流)	3	0.5	1.4	0.29	6.1	7	74
	60-80 (火砕流)	1.4	0.1	0.38	0.24	6.6	3	71
	80-100 (火砕流)	1.4	0.1	0.36	0.21	6.6	2	104
圃場 4	0-20	7.4	2.8	1.2	0.56	5.7	9	133
	20-40	8.2	3	1.2	0.62	5.8	9	145
	40-60	8	2.8	0.66	1.2	6	8	158
	60-80	6.6	2.8	0.85	1.1	6.1	11	103
	80-100	4.2	1.4	0.89	0.94	6.1	6	124
圃場 5	0-20	7	3.2	1.1	0.42	5.8	9	130
	20-40	7.2	3.2	0.93	0.44	5.8	8	147
	40-60	6.6	2.8	1.1	1	6.3	11	105
	60-80	7.2	3	1.2	1	6.4	15	83
	80-100	6.4	2.2	1.6	1.1	6.4	11	103
圃場 6	0-20	6	4	1.2	0.27	5.8	18	64
	20-40	6	4.4	1.4	0.27	5.9	18	67
	40-60	6.4	4.2	1.4	0.86	6.4	17	76
	60-80	7.4	6.2	1.9	1.3	6.6	18	93
	80-100	8	7.2	2.3	1.2	6.6	18	104

地帯であり、同地域における主要な粘土鉱物はアロフェンであることが報告されている²⁰⁾。本研究における圃場の作土や露頭断面の A 層中の SiO₂ 含量も多くは 1% を上回る値を示していたことから、これらの土壌はアロフェン質黒ボク土であるとみられる。図 2 において、未耕地である露頭断面の Al-P 含量は Al₂O₃ 含量と非常に高い相関を示したことから、より風化の進んだ表層土壌において、リン酸の多くが生成したアロフェンなどの非晶質アルミニウムと反応し、Al-P に変化したものと考えられる。調査対象地域において表層土壌は火砕流起源ではなく、樽前 a 火山灰

(AD1739) など比較的最近堆積した降下火山灰起源であり²¹⁾、火砕流層中アパタイトリン酸の多くは、表層土壌に多く含まれる活性 Al や Fe とは分離された状態で存在したため、Al-P や Fe-P へと形態変化せず、Ca-P として評価されたものと見られた。

- 4) 地形修正畑における根系発達の改善とテンサイによる火砕流中リン酸の利用

表 4 に対照区および混層区における、土壌の形態別リン酸含量を示した。この圃場は深さ 40 cm までが作土層であ

表 2 地形修正畑 (1~3) および既畑 (4~6) の代表圃場における土壌の形態別リン酸含量および酸性シュウ酸塩可溶 Al, Fe, Si (Al_o, Fe_o, Si_o) 含量

調査圃場	土壌採取深度 (cm)	可給態リン酸* (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	Al _o (%)	Fe _o (%)	Si _o (%)	形態別リン酸 (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)		
						Al-P	Fe-P	Ca-P
圃場 1	0-20	443	0.90	0.47	0.45	1832	517	475
	20-40	358	1.00	0.45	0.47	1840	560	467
	40-60 (火砕流)	67	0.04	0.04	0.02	47	36	580
	60-80 (火砕流)	108	0.05	0.04	0.01	8	14	578
	80-100 (火砕流)	123	0.04	0.04	0.01	5	14	566
圃場 2	0-20	172	2.13	0.81	1.01	1387	556	215
	20-40	229	2.08	0.81	0.93	2089	786	282
	40-60	56	2.08	0.78	0.95	549	293	184
	60-80 (火砕流)	89	0.01	0.06	0.01	3	34	853
	80-100 (火砕流)	98	0.02	0.06	0.01	5	18	1022
圃場 3	0-20	104	2.13	0.86	1.06	1089	551	278
	20-40	83	2.18	0.78	1.03	1326	590	266
	40-60 (火砕流)	104	0.19	0.10	0.09	27	42	845
	60-80 (火砕流)	140	0.13	0.09	0.05	66	28	880
	80-100 (火砕流)	123	0.03	0.04	0.01	3	40	853
圃場 4	0-20	383	2.61	1.15	1.33	1812	909	272
	20-40	224	2.55	1.08	1.32	1252	761	244
	40-60	148	1.18	0.98	0.69	419	287	96
	60-80	11	0.72	0.67	0.41	149	135	51
	80-100	4	1.50	0.78	1.00	151	213	77
圃場 5	0-20	201	3.14	1.16	1.62	2065	892	414
	20-40	181	3.07	1.11	1.49	1628	1157	412
	40-60	13	1.96	1.35	1.11	295	270	112
	60-80	79	0.49	0.81	0.31	66	129	67
	80-100	33	0.98	1.23	0.77	21	65	59
圃場 6	0-20	217	2.93	1.05	1.36	1750	909	299
	20-40	147	3.17	1.09	1.58	1105	588	233
	40-60	23	2.45	1.20	1.34	270	200	102
	60-80	13	1.68	0.99	1.00	339	241	89
	80-100	9	1.86	0.97	0.96	86	137	85

* トルオーグ法による。

り、その直下が火砕流層となっている。混層区についての値は、トレンチャーにより全層混合を受けた部分についての値である。トルオーグ法による可給態リン酸含量は、作土層においては対照区と混層区は同程度の値であったが、火砕流層の出現する 40 cm 以深の土壌では、混層区において少ない値であった。これは、上層の土壌との混合により、アパタイトリン酸が希釈されたためと考えられる。また、Ca-P 含量については、混層区では対照区に比べ、作土層において増加が認められた。これはトレンチャーにより下層土に含まれていたアパタイトリン酸が作土にも混入したためとみられる。同様に Al-P, Fe-P についても、全層位への混合が認められた。

図 3 に対照区および混層区の土壌断面形態および根系の発達について示した。対照区の土壌断面において、火砕流層の出現する土壌深度 40 cm 以深の層位では、根系の発達が著しく阻害され、根の分布量が非常に少なくなっていた。一方で混層区のトレンチャーにより施行がなされた部分については、地表下 1 m まで根系の発達が認められ、トレンチャーによる全層混合は、根系発達の改善に有効であることが示された。

対照区および混層区のテンサイ収量およびリン酸の吸収量を図 4 に示した。テンサイの新鮮根重および糖収量は、混層区において明らかに大きくなり、対照区と比べそれぞれ 30% の増収となった。混層区においてはリン酸の吸

表 3 第 24 営農集団内の露頭断面より採取した火砕流由来土壌の形態別リン酸含量および酸性シウ酸塩可溶 Al, Fe, Si (Alo, Feo, Sio) 含量

層位名	採取深度 (m)	可給態リン酸* (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	Alo (%)	Feo (%)	Sio (%)	形態別リン酸 (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)		
						Al-P	Fe-P	Ca-P
A	0-0.25	86	2.33	0.82	1.17	1032	525	250
B1	0.25-1.0	10	0.83	1.86	0.60	327	221	126
B2	1.0-1.5	12	0.71	0.36	0.46	145	137	83
B3	0.5-1.7	23	0.61	1.20	0.44	128	280	178
B4	1.7-2.1	26	0.72	0.42	0.42	166	219	118
B5	2.1-2.3	23	0.55	0.79	0.36	116	272	289
C1**	2.3-2.6	37	0.54	0.44	0.29	136	143	365
C2	2.6-4.1	113	0.11	0.19	0.04	14	34	461
C3	4.1-6.4	168	0.06	0.04	0.02	4	30	769
C4	6.4-9.0	107	0.05	0.03	0.02	19	73	740

* トルオーグ法による。

** C層は火砕流層

表 4 テンサイ栽培試験圃場における土壌中形態別リン酸含量

採取深度 (cm) ¹	可給態リン酸 ² (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)		Al-P (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)		Fe-P (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)		Ca-P (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	
	対照区	混層区	対照区	混層区	対照区	混層区	対照区	混層区
	0-10	459	520	3457	2392	933	763	319
10-20	229	195	2232	1393	610	549	311	437
20-30	132	94	1392	860	451	578	295	395
30-40	167	61	1587	654	486	367	292	464
40-50 (火砕流)	71	15	19	325	58	294	589	585
50-60 (火砕流)	74	27	8	202	11	218	672	459
60-70 (火砕流)	80	10	7	206	12	137	642	530
70-80 (火砕流)	74	19	4	46	9	142	641	636
80-90 (火砕流)	74	18	2	53	26	173	671	593

¹ 40 cm 以下は火砕流層² トルオーグ法による

収量の増加ももたらされたことから、テンサイの根系発達の改善にともない、火砕流中のアパタイトリン酸が有効に利用されたことも、収量の増加に寄与した可能性が高い。テンサイのリン酸濃度は、対照区について地上部で 1.0%、地下部 0.3% であったのに対し、混層区では地上部 1.6%、地下部では 0.7% と大幅な増加が認められた。表 4 に示したように、混層区において、アパタイトリン酸はテンサイ根系とともに全層位に分布していたことから、テンサイ根系の発達にともなってアパタイトの風化が促進された可能性もある。著者らの研究において、フィリピンピナツボ火

山灰中のアパタイトは、キマメの栽培下で 2~3 ヶ月で風化することが確認されている¹⁴⁾。こうした、栽培環境下でのアパタイトの風化についてはまだ不明の点も多く、今後も継続し検討する予定である。

謝辞：本研究を行うにあたり、多大なご協力をいただきました網走第 24 営農集団の皆様、および東京農業大学網走寒冷地農場総務調整部主任白波瀬幸男氏に深く謝意を表します。

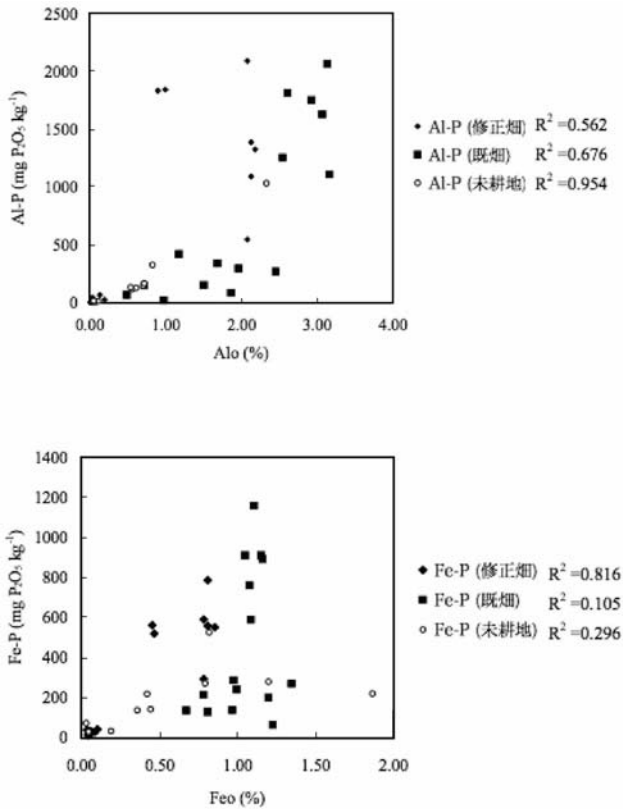


図 2 網走市東部地区における、土壤の酸性シュウ酸塩可溶 Al, Fe 含量 (Alo, Feo) と Al 型リン酸 (Al-P, 上図) および Fe 型リン酸 (Fe-P, 下図) との相関

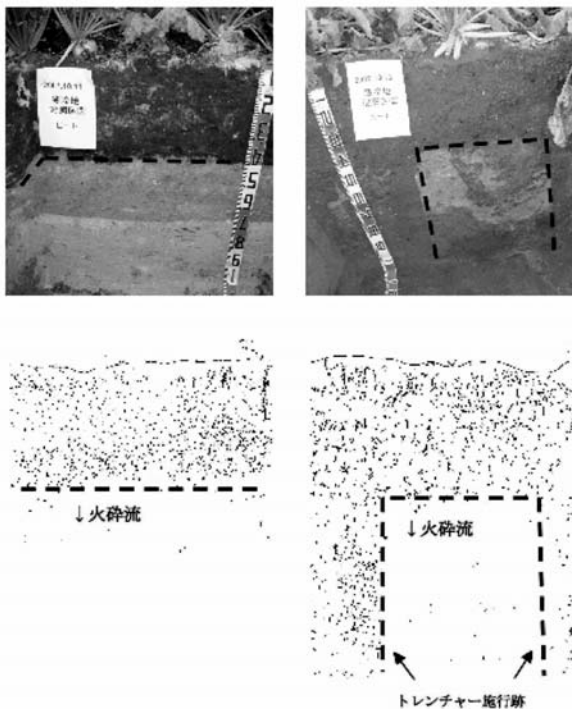


図 3 対照区 (左) および混層区 (右) の土壤断面および断面内のテンサイ根系分布
 図中点線は火砕流層の位置およびトレンチャーにより全層混合された部分を示す。

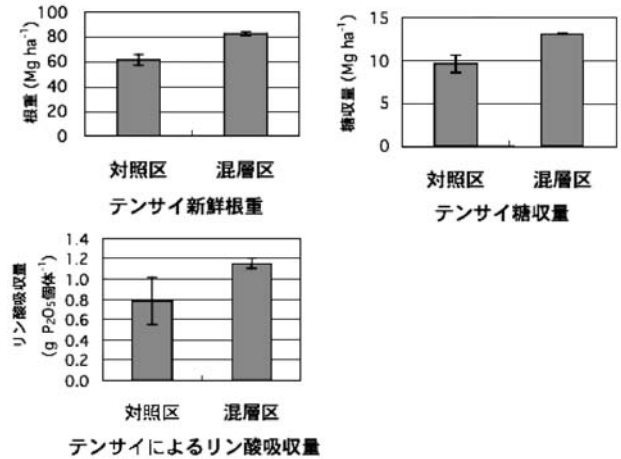


図 4 対照区および混層区のテンサイ収量およびリン酸吸収量

グラフの値は 3 地点における平均値、エラーバーは標準偏差を示す。

引用文献

- 1) 石渡輝夫・斎藤萬之助. 1992. 改良山成工で造成した畑土壌の性状. 土肥誌, 63: 669-676.
- 2) 斎藤萬之助. 1996. 改良山成工で造成した北海道の粗粒質火山灰土の物理性. 京都産業大学国土利用開発研究所紀要, 17: 57-71.
- 3) 勝井義雄. 1963. 北海道の第四期火山砕屑流堆積物. 火山, 8: 120-122.
- 4) 小松輝行・吉田穂積・宮武勝美. 1999. 網走市地域における生産力調査. 東京農業大学生物産業学部網走寒冷地農場研究年報「トウフツ」, 1: 9-39.
- 5) 小松輝行. 2001. 土壌の物理・化学・微生物性, 作物の栽培特性 (根系分布・葉の萎れ現象) および気象変動性からみた網走における畑地生産力格差の解析. 東京農業大学生物産業学部網走寒冷地農場研究年報「トウフツ」, 3: 60-77.
- 6) 林 茂樹・中島 敬・松尾直樹・得能直浩・吉田穂積・宮武勝美・山崎耕宇・小松輝行. 2001. 土壌タイプ別のピート根系分布型と葉の萎凋程度からみた土地生産力の地域格差. 東京農業大学生物産業学部網走寒冷地農場研究年報「トウフツ」, 3: 77-85.
- 7) 林 茂樹・伊藤博武・吉田穂積・山崎耕宇・小松輝行. 2004. 土壌タイプによるテンサイ根系分布の違いが葉と萎れと収量性に及ぼす影響. 土肥誌, 75: 659-666.
- 8) 林 茂樹・伊藤博武・松山英里子・小松輝行. 2005. 土壌タイプによるテンサイ根系分布の違いが収量の年次変動性に及ぼす影響. 土肥誌, 76: 299-311.
- 9) 木村あゆみ・松山英里子・林 統之・伊藤博武・小松輝行. 2006. 心土に砂層をもつ畑土壌における水分状況, テンサイの根系分布および生育・収量性の実態. 東京農業大学生物産業学部網走寒冷地農場研究年報「トウフツ」, 8: 34-39.
- 10) NANZYU, M., TAKAHASHI, T., SATO, A., SHOJI, S. and TAMADA, I. 1997. Dilute acid-soluble phosphorus in fresh air-borne tephra and fixation with an increase in active aluminum and iron. Soil. Sci. Plant Nutr. 43: 839-848.
- 11) NANZYU, M. and YAMASAKI, S. 1998. Phosphorus bearing mineral in fresh, andesite and rhyolite tephra in northern part of Japan. Phosphorus Res. Bull. 8: 95-100.
- 12) 中丸康夫・南條正巳・山崎慎一. 2000. 新鮮火山灰に含ま

- れるアパタイトと土壌・植物系における主な活性成分との短期間における反応性. 土肥誌, 71 : 55-62.
- 13) NANZYO, M., EBUCH, Y. and KANNO, H. 2003. Apatite in the pyroclastic flow deposit (1990-1995) of the Unzen volcano, Japan, and its utilization by buckwheat. *Phosphorus Res. Bull.* 16 : 1-10.
- 14) NAKAMARU, Y., NANZYO, M. and YAMASAKI, S. 2000. Utilization of fresh volcanic ash by pigeonpea and chickpea. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46 : 591-600.
- 15) 中丸康夫・斉藤鷹一・小林宏之・木村あゆみ・小松輝行. 投稿中. 網走地域における火砕流堆積物の出現深度に着目した下層土マップの作成による農業生産力評価. 土肥誌.
- 16) KUBOTA, H. and YAMADA, I. 2000. Characteristics of the induration of tephra-derived soils in Kyushu, Japan (3). Properties and typology of five indurated soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46 : 365-379.
- 17) 土壌環境分析法編集委員会. 1997. 土壌環境分析法. 博友社.
- 18) BLAKEMORE, L.C., SEARLE, P.L. and DALY, B.K. 1981. Soil bureau laboratory methods : A methods for chemical analysis of soils. *N.Z. Soil Bur. Sci. Rep.* 10A : 8.1-8.9.
- 19) CHANG, S.C. and JACKSON, M.L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84 : 133-144.
- 20) 庫爾班尼札米丁・南條正巳・天野洋司・水野隆文・吉田穂積・水野直治. 2003. 北海道における火山灰土壌中の粘土鉱物. 酪農学園大学紀要, 28 : 7-45.
- 21) 町田 洋・新井房夫. 2003. 新編火山灰アトラス. 東京大学出版会.

Evaluation and Utilization of the Apatite-phosphorus in Pyroclastic Flow Deposits in Abashiri District of Eastern Hokkaido, Japan

By

Yasuo M NAKAMARU*, Youichi SAITO**, Hiroyuki KOBAYASHI*,
Shunsuke KATOUGI*, Yuichi KURIBARA*, Kazumi SATO*,
Hiroyuki TABUCHI*, Shinsuke HUTAYA*
and Teruyuki KOMATSU*

(Received March 17, 2008/Accepted July 17, 2008)

Summary : In Abashiri district, in the eastern part of Hokkaido, much arable land that has been leveled for agricultural use has subsoil layers that consist of Kutcharo pyroclastic flow deposits.

Kutcharo pyroclastic flow deposits in subsoil were generally compacted by land leveling, so that penetration resistance is too high to allow the root development of arable crops. However, the available phosphate (Truog-P) content is high (70–170 mg P₂O₅ kg⁻¹). Thus, the chemical forms of phosphorus (P) in the pyroclastic flow deposits were evaluated using the selective extraction of each form of phosphorus, *i.e.* Al-bound, Fe-bound and Ca-bound P (Al-P, Fe-P, Ca-P). The utilization of the phosphorus in the pyroclastic flow deposits was also investigated in a field cultivation experiment. Sugar beet was grown in a field with pyroclastic flow deposits in subsoil. Two years ago at the start of the experiment, trenchers were used to thoroughly mix pyroclastic flow subsoil with top soil in a part of the field to improve the root development (subsoil mixed plot) and the rest of the field was used as a control plot.

It was determined that most of the P in the pyroclastic flow deposits was in the Ca-P form. It is well known that volcanic tephra contains the mineral apatite. Therefore, the high Truog-P content of Kutcharo pyroclastic flow deposits should be due to the presence of apatite. The field cultivation experiment showed that subsoil mixing clearly improved root development in the subsoil. The phosphorus uptake was 50% higher for the deep cultivated plot than the control plot. This suggested that the sugar beet roots utilized the apatite-P in their root development. Although the presence of the pyroclastic flow deposits has been a limiting factor for agricultural productivity, the apatite-P should be an important resource which can improve agricultural activities in Abashiri district.

Key words : Land leveling, Pyroclastic flow deposits, Subsoil, Phosphorus, Apatite

* Department of Bioproduction, Faculty of Bioindustry, Tokyo Univ. Agriculture

** Kaneka Foods, Inc.