

第Ⅰ章 緒 言

第1節 本研究の背景と目的

北海道における野菜生産の中心は、露地及び半露地（トンネル・マルチ）栽培であり、施設栽培はエネルギー事情に切迫してきた近年、寒地北海道においては補完的役割をになう色彩が強い。一方、露地・半露地栽培による野菜生産は、府県に比べ冷涼な気象条件を反映し、作期が限定され、おのずと夏・秋どり野菜を基幹とせざるを得ない。また、農家1戸当りの耕地面積が広い北海道においては、野菜栽培面積が大きい反面、府県の高度集約化された栽培と比べると、集約度は低い状態にある。すなわち、府県の小規模、施設併用、高度集約の周年的野菜生産に対し、北海道の野菜生産は、大規模、土地利用型の畑作的夏・秋どり野菜生産と言える。このような北海道の特色は近年、一段と顕著になっている。

例えば、1965年に、指定野菜14品目中、作付面積が占めるシェアが全国5位以内に入っていた9種の野菜の内、トマト・キュウリ・ナスなど労働集約性の高い果菜類はその後減少し、タマネギ・ニンジンなど比較的労働集約性の低い野菜が増加している。なお、同性質のダイコン・ハクサイは作付面積自体は減少しているが、現在においても全国的には大きなシェアを占める重要な野菜である。

一方、14品目の指定野菜以外に枠を広げると、同じく労働集約性の低いスイートコーン・アスパラガスは、その作付面積の増加が著しく、ともに全国1位の生産量を占めるに至っている。さらに近年、露地メロン、ハウレンソウ等の面積拡大も顕著であり、それらを含め、大規模、畑作的な夏・秋どり野菜の生産が北海道における野菜生産の中心となっている。

その結果、本道の野菜作付面積は、全国的な漸減傾向と逆に、なお拡大し、1980年には50,800ha(全国シェア8.3%)に達し、102,760戸の農家が野菜栽培に従事している。そして、タマネギ・

ニンジン・カボチャ・スイートコーン・メロン等、特産野菜を中心に、年間124万tの生産量をあげ、府県へも大量に移出し、主要野菜生産地（全国野菜生産量の7.9%）としての位置を占めるに至っている。

このような選択的発展をとげてきた北海道の野菜生産の現況を、北海道農業の動向⁵²⁾にならい、本道を、①道央地域：石狩，空知，上川，胆振，日高，留萌，②道南地域：後志，渡島，松山，③道東北Ⅰ地域：十勝，網走，④道東北Ⅱ地域：釧路，根室，宗谷，の4地区に区分して、地域別に整理した（第1表）。なお、道東北Ⅱ地域は野菜無栽培地帯と考えた。その上で、各地域別に、作付面積が500ha以上の主要野菜について、その地域別占有率を取りまとめた結果（第2表），①スイートコーン・カボチャ・ナガネギ・ナガイモは野菜栽培3地域に広く栽培されており、広域栽培野菜と考えた。それに対し，②ハクサイ・キャベツ・レタスは道央地域に作付が集中し，一方，③タマネギ・ニンジン・ハウレンソウは道央から道東北Ⅰ地域に広がり，また④ダイコン・アスパラガス・ナス・トマト・キュウリ・イチゴ・スイカ・メロン・エダマメは，道南から道央地域に，主として栽培されている。

第1表，第2表より明らかなように，道南地域の野菜生産は，府県的な小規模で，集約性の高い果菜・果実の野菜栽培が中心となり，道東北Ⅰ地域は，逆に大規模で，労働集約性の低い畑作的野菜（スイートコーン・タマネギ・ニンジン）生産を主としている。そのため道南あるいは道東北Ⅰ地域の野菜生産を研究対象とする限り，北海道における野菜生産の特殊性を見失うことになる。それ故，本研究の主たる研究対象地域として道央地域を選定した。道央地域とは，石狩，空知，上川，日高，胆振，留萌の6支庁を含み，北海道の野菜作付面積の51.3%を占める地域を指している。

一方，研究対象野菜は，①広域栽培野菜として，スイートコーン，②道央地域栽培野菜として，ハ

第1表 地域別野菜作付面積割合及び一戸当り経営面積

地 域 別	耕地面積 割合 (%)	野菜作付面積 割合 (%)	一戸当り面積ha		農家戸数 割合 (%)	主業農家率 (%)
			全体	畑作		
全 道	(1,125,000ha) 100	(50,330ha) 100	—	—	(122,000戸) 100	—
① 道央地域 石狩、空知、上川 胆振、日高、留萌	36.0	51.2	5.4	3.4	53.8	81.4
② 道南地域 後志、渡島、松山	8.0	19.0	3.0	1.5	19.4	53.9
③ 道東北Ⅰ地域 十勝、網走	35.0	28.6	13.5	12.3	19.7	89.9
④ 道東北Ⅱ地域 釧路、根室、宗谷	21.0	1.2	23.0	2.5	7.1	74.4

- 注 1) 一戸当り面積：全国0.97ha、米国157.61ha、仏国22.07ha
 2) 北海道農務部：北海道農業の動向
 3) 農林水産省：北海道統計情報事務所「耕地及び作付面積統計」
 4) 主業農家：専業農家＋第1種兼業農家

第2表 各種野菜の地域別作付割合 (%) (1980年)

	野 菜 別	作付面積(ha)	道央地域	道南地域	道東北Ⅰ地域	道東北Ⅱ地域
広域栽培野菜	スイートコーン	10,400	31.1	20.1	48.7	0.5
	カボチャ	3,560	50.3	21.4	27.4	1.0
	ナガネギ	703	52.6	26.9	20.1	0.4
	ナガイモ	589	49.6	20.2	29.5	6.8
道央地域栽培野菜	ハクサイ	2,040	59.3	18.9	18.1	3.8
	キャベツ	1,880	58.2	19.9	16.5	5.3
	レタス	504	70.8	9.3	18.8	9.9
道央・道東北Ⅰ地域栽培野菜	タマネギ	7,910	60.4	0.1	39.5	0.0
	ニンジン	3,580	73.3	5.7	24.0	0.6
	ホウレンソウ	833	58.6	18.0	20.2	3.2
道央・道南地域栽培野菜	ダイコン	4,410	46.8	30.5	18.7	3.8
	アスパラガス	4,290	43.5	40.3	16.0	0.0
	スイカ	1,210	68.6	30.3	0.9	0.0
	メロン	1,100	76.6	21.4	1.9	0.0
	キュウリ	721	62.7	25.7	11.4	0.3
	エダマメ	716	19.3	73.6	7.1	0.0
	トマト	639	62.8	29.6	6.9	0.8
	イチゴ	586	54.8	41.6	3.2	0.3
	ナス	562	66.2	24.9	8.7	0.2

注) 作付割合が20%以上を超える場合を当該地域栽培野菜とした。

クサイ・レタス、③道央・道東北Ⅰ地域栽培野菜として、タマネギ・ニンジン・そして④道央・道南地域栽培野菜として、トマト・アスパラガス・エダマメを選定した。なお、ホウレンソウを都市近郊軟弱野菜の代表として、対象野菜の一つに選んだ。

なお、道央地域（札幌）の気象条件は、野菜の主たる栽培期間（5月～9月）で比較すると、府県に比べ日照時間は劣らないが、年間及び作付期間中（5月～10月）の平均気温は低く、降水量が

少ない少雨寒冷な条件にある（第3表）。

一方、全国的な野菜生産の近年における特徴的な動向をとらえると⁵¹⁾、まず、①輸送手段の多様化と高速輸送の発展に基づき、生産地が従来の都市近郊より、中間農業地域、遠隔農業地域へと移動し、本道においても大規模な特産野菜の産地が出現している。②反面、古い産地は都市の外延的発展により、宅地化され消えて行くばかりでなく、連作障害、土壌中養分の過剰蓄積と不均衡など多くの問題をかかえ、北海道においても古い産地は

第3表 札幌（道央地域）と府県各地の気象条件の比較

項目 地名	平均気温(℃)			降水量(mm)			日照時間(時)			備考
	5～10月	11～4月	年間	5～10月	11～4月	年間	5～10月	11～4月	年間	
札幌	17.1	-0.2	7.8	652	491	1,143	1,362	592	1,954	寒地
仙台	20.4	2.8	11.6	983	263	1,246	1,158	781	1,939	寒冷地
長野	21.0	1.6	11.3	745	269	1,014	1,307	749	2,056	高涼地
熊谷	23.0	4.7	13.9	1,070	214	1,284	1,176	1,011	2,187	中間地
名古屋	22.4	5.2	14.7	1,194	346	1,540	1,325	903	2,228	中間地
鹿児島	26.0	8.1	17.0	1,906	527	2,433	1,313	802	2,115	暖地

注）農林水産省 統計情報部 作物統計気象編（1969～1978年）より

時には荒廃し、壊滅するか、生産力の伸び悩みによる停滞傾向に落ち入っている。反面、③稲作転換事業の進展につれ、従来、野菜栽培が皆無であった地域も含め、各地に大・小規模の新産地が形成されている。

このような生産地の拡大・移動は当然の帰結として、古い適地適作区分を大きく書きかえはじめ、種々の土壌条件に栽培が広がった。このことは土壌改良・肥培管理技術の向上により、かつて制限因子となっていた土壌条件が緩和されたことを意味し、野菜生産に対する土壌肥科学的研究の重要性を示唆している。

産地の拡大・移動は土壌条件の多様化をもたらすばかりか、新・旧産地の併存状況を生じ、両者が相まって土壌中の養分蓄積状況・肥沃度を複雑多岐にした。そのため、従来の一定地域・一定土壌を対象とした、一律な施肥基準・肥培管理方式の適用では、現実に対応し得なくなっている。そこで、土壌の養分蓄積状況に対応した施肥・肥培管理方式の確立が、今後の北海道野菜の生産安定のために必要不可欠である。

もとより、野菜生産地の生産力向上・安定化

が、単に、土壌の化学性のみで律しきれない面は多々ある。特に、深耕、混層耕などを含めた物理性改善が、多くの野菜生産に効果をあげている^{9,57,147,161)}。しかし、その効果は野菜に対してのみ特異的に高いわけではなく、一般畑作物に対しても多くの成果が報告されている^{3,74,103)}。すなわち、土壌の物理性改善については、野菜畑の特殊性はなく、一般畑作物と共通的に取り扱い得る。だが、土壌の養分蓄積を中心とした化学性については、野菜栽培土壌は明らかに畑土壌と異なり、異質な問題が生じている。それ故に、本研究においては、北海道における野菜栽培に対する肥培管理法を確立するため、化学性を中心に、次の諸点について検討を行うことにした。

1) 北海道における野菜栽培土壌の畑土壌としての一般性と特殊性を明らかにし、取りわけ、養分蓄積の進展に関与する人為的要因の影響力を解明しようとした。

2) 人為的要因により進行した養分蓄積が、土壌反応、作物生産に及ぼす影響を検討し、養分蓄積に対応した施肥・肥培管理法の確立を図ろうとした。

3) 土壤養分, 取りわけリン酸(以後, Pと省略する)及び塩基の過剰蓄積が, 各種野菜生産に及ぼす影響を検討し, 過剰障害について究明しようとした。

4) 各種野菜をその特性に基づき群別し, 各群ごとに養分蓄積に対応した施肥・肥培管理法を確立しようとした。

第2節 従来の研究

1. 野菜栽培土壌における養分の挙動に関する研究

野菜栽培土壌での土壤養分の挙動に関する研究は, ①露地栽培土壌における養分の溶脱(酸性化)^{60, 99, 133, 168, 238}と, ②施設栽培土壌での養分の集積(塩類集積—富栄養化)^{6, 106, 109, 170, 220}に関する報告とに大別し得る。

温暖多雨な我が国の耕地土壌が酸性に傾きやすいことは, 一般畑作で早くから指摘されているが^{7, 92, 139, 141}。露地野菜栽培土壌の酸性化は, 降雨による塩基の溶脱に加うるに, 一般畑作に比べ, 作付ひん度が高く, 窒素(以後Nと省略する)施肥量が著しく多いことにより, 促進されている^{145, 166, 167}。

さらに, N施肥に関しては, 生理的酸性肥料の連用^{132, 168}のみならず, 嶋田^{165, 167}はアンモニアの硝酸化成によって生ずる硝酸が, 土壌コロイドからカルシウム, (以後Caと省略), さらにマグネシウム(以後Mgと省略)を引き出し, 溶脱することによって, 急速に酸性化が進行することを報告している。

このような土壌の酸性化が, 露地野菜畑の生産力低下に及ぼす影響については, 宮城, 山形, 福岡などにおけるハクサイ産地の生産力低下と産地移動^{5, 62}。尾張沖積野菜栽培地帯のいわゆる土壌老朽化^{164, 171}。都市近郊野菜産地の土壌酸性化と生産力低下^{62, 63, 133}として報告されている。また, 堀ら^{60, 61}は, 富士市におけるキャベツ跡地のタマネギの生育不良が, キャベツに対する集中的N多肥に基づく土壌の酸性化により, リン酸の肥効が妨げられるためであることを明らかにした。

土壌の酸性化と関連して, 露地野菜栽培土壌にお

ける, Ca^{60, 63, 64, 97, 208}及びMg欠乏症^{38, 105, 110, 201}に関して多くの報告がある。それらの欠乏症は絶対量の不足のみならず, 他要素との相互作用で発現することが明らかになった。例えば, Ca欠乏症はPHの低下あるいはアンモニア態Nの高濃度の存在や¹⁶⁷。N多施^{65, 97}。塩素, 硝酸など特定イオンの多量施用³⁵。高カリウム(以後Kと省略)・高電気伝導度(以後ECと省略)・多量のアンモニア存在条件下^{65, 98}などで, Ca吸収が抑制され, 発現する。

一方, Mg欠乏症も交換性Mgを十分含む土壌であっても, K多肥, 交換性K多量存在条件下で, Mg吸収が阻害されて発現することがあり^{109, 133}。山崎²³⁰はそのような土壌をK偏用土壌と呼んでいる。

このように, 露地野菜栽培土壌における養分の挙動は, Ca, Mgの溶脱が中心ではあるものの, 一部では, K蓄積が生じている場合もあり, さらに, 群馬県のコンニャク畑土壌の実態調査⁹⁴では, 地域的に交換性Ca量が増加し, 特に, 優良ほ場でその傾向が強いと報告している。

ところで, 府県に比べ降水量の少ない北海道においては, 必ずしも露地野菜畑において, 土壌の酸性化が進行しておらず, むしろ, 塩基が蓄積し, PHは高まる傾向にある。この点, 北海道の露地野菜栽培土壌の特徴として, 本論文で詳述する。

一方, 施設栽培土壌の塩類集積は, 米田ら²⁴²が岡山県下のブドウ温室について調べたのがはじめて, これら施設栽培土壌中には可溶性塩類, 特に硝酸塩が多量集積している。その後のビニールハウスの著しい普及につれ, 施設栽培土壌の実態調査, 生育阻害要因の解析に関する研究・報告は増加した。それらの結果を要約すると, 施設内土壌は露地土壌に比べ, 全般的に塩類濃度が高く, 栽培年次の経過とともにその濃度が上昇し, 塩類集積は塩基交換容量の大きな土壌ほど多い傾向にある^{6, 106, 110, 134, 170, 220, 243}。

これら塩類集積に伴う障害^{86, 170, 240}とその除去法^{10, 87, 88, 235}については多くの報告があり, 塩類障害の簡易的な測定法として, 電気伝導計を用いたEC(Electric Conductivity 以後ECと省略す

る)値が用いられている^{36,93)}。なお、ECと NO_3 -N及びアニオン総量との間には高い相関関係があり、EC測定により土壌中の NO_3 -N量を推定できる。

また、塩類障害以外にも、施設栽培土壌ではアンモニアの蓄積による障害、アンモニアガスによる障害^{35,157)}、亜硝酸による障害^{37,232)}など各種報告されている。

このような府県の多くの研究成果に対し、北海道における野菜栽培土壌に関する報告はハウス土壌^{40,70,143)}やタマネギ畑土壌^{124,188,189,191)}について散見される程度で、一般畑作土壌、水田土壌に比べ著しく少ない。特に、露地野菜栽培土壌を全体的にとらえた報告は、本道のみならず全国にもみられない。

一方、土壌におけるP蓄積の問題は、畑土壌の生産力向上技術として、古くから多くの研究があるが、中でも、山本²³¹⁾、本谷ら⁵⁹⁾によって行われたP吸収係数の10%に相当するP資材多投による熟畑化技術は、その後、野菜栽培土壌にも適用され¹⁴⁰⁾、本道においてもタマネギ熟畑化技術として広く普及している^{28,75)}。なお、P蓄積に伴う生産力向上の顕著なことに幻惑されて、P過剰蓄積による生産力低下についてふれるものは少ない。わずか、コンニャク⁹⁴⁾、レタス²³⁷⁾などにおいてP多量施肥による収量低下の事例が報告されているにすぎず、その要因解析は行われていない。

なお、土壌中でのPの挙動に関しては、古くから多くの報告があり^{22,27,59,104,136,224)}、一般的に土壌中で移動しにくいものとされている。しかし、露地野菜栽培土壌において、嶋田^{165,168)}はライシメーターの溶脱液中に、かなりのPが含まれていることを報告している。

2. 野菜の養分吸収・施肥に関する研究

一般畑作物に比べ、野菜の養分吸収量は概して多く、特にK, Ca, Mgの吸収量が多い。それに対し、P吸収量は比較的少なく、また、野菜の中では果菜類・結球性葉茎菜の養分吸収量が最も多い^{43,120)}とされている。しかし、ビートやアルファルファの養分吸収量が、キャベツ(結球性葉菜)、

スイートコーン(果菜)の吸収量より多いとの報告¹⁵¹⁾もあり、また、野菜の種類の高さや、収量・養分吸収量の偏差が非常に大きいこと¹²⁰⁾を考慮すると、一概に断定し得ない。

一方、野菜の養分吸収経過^{116,120,135,234)}は、種類、品種、作型などによって異なるが、茎葉の生長(栄養生長)と平行して果実(生殖生長)を収穫するトマト・ナス・キュウリなどの果菜類や、栄養生長の最盛期に収穫するハウレンソウなどの葉菜類は、時期の経過とともに吸収量が多くなり^{120,135)}、山崎²³⁴⁾はこれをA型と呼んだ。それに対し、栄養生長から生殖生長に転換する結実性野菜(スイートコーン、エダマメなど)や、結球性葉茎菜(ハクサイ、キャベツ、タマネギなど)は、生育中期の吸収量が多く、生育後期に吸収量が低下し^{120,135)}、これをB型と区分した²³⁴⁾。なお、根菜は地上部はB型に近いが、根部は養分を吸収し続け、A型に近い。

ところで、果菜、葉茎菜、根菜等に対する施肥用量試験の結果は数多くあるが、野菜に対する施肥適量は、畑作物に比べると一般的に多く^{43,120,135)}、野菜の中では、果菜類(平均 $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ として $=27:20:30\text{kg}/10\text{a}$) $\geq$ 葉茎菜類($28:16:25\text{kg}/10\text{a}$) $>$ 根菜類($22:15:19\text{kg}/10\text{a}$)の順に多くなっている⁴³⁾。なお、本道における施肥実態調査¹⁸⁸⁾の結果も、野菜に対する施肥量は畑作物より多い傾向にある。

次に、N施肥についてみると、まず、N源としては一般的に硝酸態Nが勝り^{122,229)}、アンモニア態NはK, Ca, Mgなど塩基吸収を妨げるとされ、Allen et al¹⁾はアンモニアの過剰で、土壌のK供給力が低下し、K欠乏が生ずることを明らかにした。また、タマネギにおいて高濃度のアンモニアの存在で、P吸収が抑制されるとの位田⁷²⁾の指摘があり、さらに、硝酸態Nの多い場合もP吸収が抑えられる。一方、Pの吸収は温度の影響を強く受け、低温は根による吸収、葉部への移行を妨げる⁷¹⁾。そのため本道のような寒冷地では、P供給は特に重要である。

ところで、P施肥効果は、土壌の種類によって異なり、江川ら²³⁾はオオムギを用いたポット試

験の結果から、P増施に伴う収量変化を4群に類別した。また、景山ら^{82,84)}は、P施肥に対する反応の差から、供試野菜を3群に分け、また、適正濃度に品種間差異のあることを明らかにした。なお、このような土壌中の有効態P量の差異に基づくP施肥反応の違いから、土壌中の有効態P量を基準として、P施肥量を決定しようとする試みが、古くは、Arnold et al¹¹⁾、Balba et al¹³⁾によってなされ、また、現今、オランダなどにおいては、酪酸抽出Pあるいは水溶性P量を基準としたP施肥基準が策定されている¹⁵⁵⁾。

次に、塩基についてふれると、一般に野菜の塩基吸収量は多いとされているが、取りわけ、Kの吸収量は中安ら¹³²⁾の取りまとめによってもムギに比べ多い。このKの吸収はアンモニア態Nによって抑えられ、また、逆に、N過剰害がK多用によって緩和されるとの報告¹⁾があり、互いに拮抗的に作用している。

このような無機養分間の拮抗作用、養分バランスについては多くの研究成果^{18, 24, 31, 39, 68, 69)}があり、特に野菜については、鎌田ら⁸⁹⁾が火山灰土壌における塩基飽和度、塩基バランスについて検討し、塩基飽和度80%、Ca飽和度48%、Mg飽和度20%、K飽和度12%、Ca/Mg比2.4、Ca/K比4.0、Mg/K比1.7が望ましいとの結果を得ている。

また、全体を取りまとめた“野菜栽培土壌の診断基準のとりまとめ”²³⁸⁾においては、塩基の可動性(作物えのとりこみ)は $K > Mg > Ca$ の順位であり、作物の養分吸収における拮抗作用は、Caの吸収がMg、Kの多用で、Mgの吸収がKの多用で、Kの吸収がCa、Mgの多用で抑制されるとした。

なお、無機養分の過剰に基因する作物の生育障害については、前述のような養分バランス・拮抗作用による場合以外に、溶液の浸透圧の問題がある。古く、Bernstein et al¹⁵⁾、Magistad et al¹¹³⁾は溶液の高浸透圧が作物の生育障害をもたらす直接の原因と推論した。これは塩類過剰障害の原因を全塩類濃度によって説明しようとする現今の試みと共通している。

一方、イオンの特異性を一次的な原因とする考

えがあり、中でもMgによる生育障害はかなり以前から認められている³¹⁾。この点に関しては、嶋田¹⁶²⁾の詳細なMg過剰障害に関する研究がある。また、アンモニア態Nも、イオンの特異性による生育障害が認められている^{117, 118)}。

3. 可給態N・Pの測定法に関する研究

畑土壌の肥沃度を土壌中の可給態養分の面より評価し、それに基づく合理的な施肥基準の確立を図ろうとする試みが古くからなされている。まず、N肥沃度についてみると、土壌のN供給力の検定法として、生物的方法と化学的方法が種々報告されている。

生物的方法は培養法と微生物を利用する方法^{16, 152)}に分けられ、培養法とは、土壌を培養し、生成する無機態N量を可給態Nとして測定する方法で、ビーカー培養法と洗滌培養法がある。

ところで、ビーカー培養法は、生成する硝酸態Nの集積が土壌PHを低下させ、Nの無機化を抑制するため、正味の無機化量を測定し得ないのに対し、洗滌培養法は、坂井¹⁵³⁾によると、培養土を水洗滌することにより、生成・集積した硝酸態Nを排出させ、土壌PHの低下を防ぐこと及び強制通気による酸素不足の解消により、Nの無機化を円滑に進める利点があるとされている。なお、三木¹²³⁾は、種々の可給態N測定法の比較検討を行った結果、洗滌培養法による可給態N量が作物のN吸収量ときわめて高い相関関係にあることを指摘し、本道においても沢口ら¹⁵⁷⁾が同様な結果を得ている。

一方、化学的方法としては、酸加水分解法とアルカリ酸分解法が古くから知られているが、2法とも作物のN吸収量との相関関係は低く、可給態N測定法としては不十分である^{123, 157)}。この点、赤塚ら⁴⁾は熱水抽出性Nを考案し、熱水によって抽出されるNが易分解性有機物の一部を含むことを指摘し、土壌N供給力判定の有利な指標となることを報告した。さらに、沢口ら¹⁵⁷⁾は各種可給態N測定法を比較検討した結果、熱水抽出性Nが洗滌培養法Nについて作物のN吸収量との相関が高く、測定の簡便さの点より、土壌Nの有効化速度を評価する指標として、最も適当であると指

摘している。

土壌中の可給態Pの測定法としては、一般的に、無機酸抽出法（ 0.01NHNO_3 ， $0.2\text{NH}_2\text{SO}_4$ ， 0.7NHCl など），有機酸抽出法（クエン酸，酪酸，酢酸など），緩衝液抽出法（Truog法，Morgan法など），アルカリ抽出法（ 0.5NNaOH ， $1\%\text{K}_2\text{CO}_3$ ， 0.5MNaHCO_3 など），飽和炭酸水抽出法，水抽出法などがあり，古くから各抽出法の比較検討がなされている。

また，近年， P^{32} を用いた可給態Pの評価法として，Fried et al²⁶⁾によって，作物が施肥Pと土壌Pとの各P給源から，その量に比例してPを吸収すると仮定した，A-value system ($A = \frac{\text{作物が吸収した土壌P}}{\text{作物が吸収した肥料P}} \times \text{P施用量}$) が提唱された。なお，本谷⁵⁹⁾は，特殊な土壌以外は，A-valueが可給性無機Pの $1/4 \sim 1/3$ ，または 1% クエン酸可給Pの約1.5倍と推定でき，こ

れを代用し得ると報告している。

一方，庄子ら¹⁷²⁾はA-valueと北海道の気候及び土壌条件に適合し得ると予想される各種可給態P測定法の比較を行い，Bray No.2-P（ $0.1\text{NHCl} + 0.03\text{NNH}_4\text{F}$ ）が各種土壌で最も高い相関関係にあると指摘している。しかし，南ら¹²⁷⁾は，火山性土と非火山性土を用いて，各種抽出法の検討を行った結果，土壌全体ではTruog-Pが最も作物のP吸収量と高い相関関係にあり，Bray No.2-Pより土壌可給態Pの指標として妥当であるとした。なお，火山性土に対してはAl型Pを併せ用いる必要のあることも指摘している。ところで，火山性土におけるAl型Pについて，宮里ら¹²⁹⁾が東北地方の火山灰土壌に対するP肥沃度の指標として，有効であることを，既に報告している。

第Ⅱ章 野菜栽培土壌における養分蓄積とその起因

第1節 養分蓄積状況

1. 目的

道内各地の畑土壌、特に野菜栽培土壌について調査し、土壌本来の自然肥沃度に、施肥・肥培管理（土壌改良資材投入）に基づく人為的な養分富化が加算された結果、野菜栽培土壌がどのように変貌しつつあるかを明確にする。

2. 調査対象地域及び方法

第4表に示す地域及び作物を対象に、施肥量などの聴取、土壌及び作物体の試料採取、生育、収量調査などを行った。

取りまとめにあたって、土壌は、北海道の農牧地土壌分類第2次案⁴⁸⁾の大分類8項目の内、ポドゾルは主に道北（第Ⅰ章序論で述べたところの道東北Ⅱ地域）にのみ分布しているため除外し、残る7項目を、北海道施肥標準⁴⁹⁾における土壌区分に対応させ、①低地土を沖積土に、②泥炭土と③火山性土及び④未熟土は、そのまま使用し、⑤褐色森林土、疑似グライ土、赤黄色土を洪積土

及びその他とし、概括的に5群に区分した。

作付様式は、①輪作を基幹とする一般畑作畑、②連作を出来るだけ避けながら各種野菜が栽培されている一般野菜畑、③特定の野菜が連作されている連作野菜畑、そして④降雨がしゃ断された条件の施設（ハウス）に区分し、さらに連作野菜畑を、③－1）比較的肥培管理が粗放なアスパラガス畑、③－2）高度な肥培管理が行われているタマネギ畑、③－3）1年に3～4回作付される土地利用率の高い軟弱野菜（ホウレンソウ）畑に分けた。なお、②、③、④の土壌を畑土壌の内、野菜栽培土壌と規定した。

上記の土壌区分と作付様式別の調査点数を集計し第5表に示した。土壌分析は、有効態P(Truog-P)は硫酸モリブデン法、交換性Ca・Mgは原子吸光法、交換性Kは炎光法により、他の一般的な分析（PH、ECなど）を含め、土壌養分分析法²⁰⁾並びに土壌及び作物栄養の診断基準（分析法）⁵⁴⁾によった。以下の章においても同様な方法を用いた場合は、その記述を省略する。

第5表 土壌別、作付様式別にまとめた調査点数

作付様式別	土壌別	沖 積 土	泥 炭 土	火 山 性 土	洪 積 土	未 熟 土	合 計
①	一般畑作畑	138	91	105	124	8	466
②	一般野菜畑	125	61	199	55	65	505
③－1)	アスパラガス畑	94	0	121	51	11	277
③－2)	タマネギ畑	230	42	0	16	0	288
③－3)	軟弱野菜畑	100	35	26	39	2	202
④	施設（ハウス）	140	22	97	24	0	283

3. 結 果

1) 土壌別・作付様式別養分蓄積状況

土壌別・作付様式別に土壌分析結果を取りまとめた（第6表）。なお、取りまとめにあたって、調査点数が20戸に満たない洪積土のタマネギ畑、未熟土のアスパラガス畑、一般畑作畑などは割愛した。また、ナガイモ畑（調査点数43戸）は土層における養分の垂直分布状況が、他と著しく異なるため一般野菜畑の集計より除外した。

土壌中のTruog-P量は各土壌とも、一般畑作畑<一般野菜畑=アスパラガス畑<軟弱野菜畑≤タマネギ畑<ハウス土壌の順であった。（第1図）。塩基飽和度でも同様な傾向がみられた（第2図）。ただし、アスパラガス畑の塩基飽和度はP蓄積の順序と異なり、各作付様式の中で最も低かった。すなわち、土壌の差異にかかわらず、作付様式の違いにより、土壌中のP・塩基蓄積程度が異なった。

第4表 調査対象地域及び対象作物

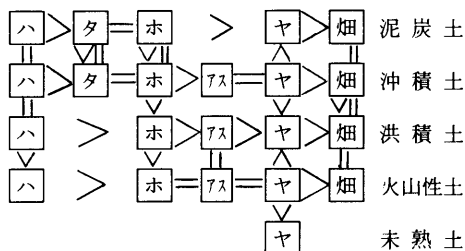
調査 年次	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	計
(1) 施設 (ハウス)								三笠、伊達 美唄	伊達、旭川 富良野	伊達、三笠 月形、旭川 富良野、大野	7地区 283戸
(2) 軟弱 野菜畑							札幌	札幌	札幌、旭川 富良野	函館	4地区 202戸
(3) ギ タマ ネ 畑	富良野	滝川	富良野	中富良野 栗山、滝川	新十津川 札幌	富良野、芽室 音更、帯広	栗山、南幌 三笠	札幌、長沼			12地区 288戸
(4) ア ス パ ラ ガ ス 畑				東神楽、喜茂別 共和、平取 伊達、富良野 佐呂間、上湧別	早来	夕張、留寿都 倶知安	芽室、更別 乙部、森 厚沢部、美瑛	美瑛、喜茂別	喜茂別		18地区 277戸
(5) 一 般 野 菜 畑	三笠(キュウリ) 夕張(ナガイモ) 余市(スイカ)	千歳(ナガイモ)	赤井川(キャベツ)		伊達(ハクサイ) 厚田(ナガイモ) 夕張(イチゴ) 江別(トマト)	夕張(トマト) 夕張(キュウリ)	夕張(メロン) 栗山(メロン) 伊達(ハクサイ)	北村(ハクサイ) 三笠(メロン) 三笠(キュウリ) 千歳(ハクサイ) 札幌(スイカ) 札幌(ハクサイ)	夕張(メロン) 月形(メロン) 北村(トマト) 北村(メロン)	大野(ハクサイ)	14地区 505戸
(6) 一 般 畑 作 畑	真狩(ビート)	栗山、由仁 (バレイショ) 真狩(ビート)	千歳、網走、 端野(ビート) 浦臼(ビート)	長沼、深川、七飯 北松山、滝川 (バレイショ) 千歳、網走、小清水 留辺蘂(ビート)	函館、長沼 (バレイショ) 恵庭、千歳、伊達 富良野、湧別 遠軽(ビート)		三笠、岩見沢 (小麦)	岩見沢、北村 長沼(小麦)			25地区 466戸

注) (1)(2)(3)(5): 著者の独自の調査
 (4): ホクレン農業総合研究所及び多賀らの調査
 (6): 1973～1977年の調査は農業団地調査報告書による。
 1978～1980年の調査は著者独自の調査

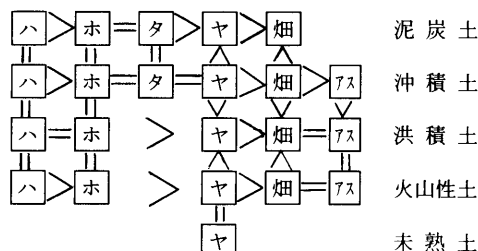
P蓄積の土壌間差異(第7表)は、①最もP蓄積程度の低い一般畑作畑で、沖積土と洪積土間のみ5%水準の有意な差が認められたが、②P蓄積が比較的進行した一般野菜畑では、未熟土=洪積土<泥炭土=火山性土<沖積土の順であり、③さらにP蓄積の進んだ軟弱野菜畑では、沖積土と洪積土・火山性土間にのみ有意な差が認められ、全体的に土壌間差は明確でなく、④ハウス土壌では火山性土のみP蓄積量が少なく、沖積土・洪積

土・泥炭土間の差は認められなかった。

塩基飽和度の土壌間差異(第7表)は、①一般畑作畑では洪積土≤火山性土=泥炭土<沖積土の順で、②一般野菜畑においても、沖積土・火山性土・未熟土と洪積土・泥炭土の間に有意な差が認められ、③軟弱野菜畑・ハウスにおいては土壌間差異は一切認められなかった。



第1図 土壌・作付様式別にみた
P蓄積 (Truog-P) 状況



第2図 土壌別・作付様式別にみた
塩基蓄積 (塩基飽和度) 状況

第1・2図、共通

注1) ハ：施設（ハウス）、タ：タマネギ畑、ホ：軟弱野菜畑、アス：アスパラガス畑、

ヤ：一般野菜畑、畑：一般畑作畑、

注2) t検定、>：1%で有意、≥：5%で有意、=：NS

第7表 各土壌毎の作付様式別にみたTruog-P量及び塩基飽和度の平均値と土壌間差異

一般畑作畑					一般野菜畑					軟弱野菜畑				施設（ハウス）						
Truog-P量（mg P ₂ O ₅ ／100 g）																				
土質別	土質別	泥	火	洪	土質別	泥	火	洪	未	土質別	泥	火	洪	土質別	泥	火	洪			
	平均値	17.4	20.6	23.0		平均値	52.6	55.7	31.5	30.0		平均値	135.7	40.2	86.7		平均値	240.8	108.4	188.0
沖泥火洪	18.0	NS	NS	*	80.6	**	**	**	**		106.1	NS	**	**		182.3	NS	**	NS	
	17.4		NS	NS	52.6		NS	**	*		135.7		NS	NS		240.8		**	NS	
	20.6			NS	55.7			**	*		40.2			NS		108.4			**	
	—			—	31.5				NS		86.7			—		188.0			—	

塩 基 飽 和 度（％）																	
土質別	平均値	56.5	61.2	55.1	平均値	63.9	80.7	63.8	84.6	平均値	86.8	88.9	99.3	平均値	111.6	120.4	108.7
沖泥火洪	75.2	**	**	**	82.7	**	NS	**	NS	91.0	NS	NS	NS	109.6	NS	NS	NS
	56.5		NS	*	63.9		**	NS	*	86.8		NS	NS	111.6		NS	NS
	61.2			**	80.7			**	NS	88.9			NS	120.4			NS
	55.1			—	63.8			**	*	99.3			—	108.7			—

第6表 土壌別・作付様式別にみた養分蓄積状況

土壌別	作付様式別	項目	PH (H ₂ O)	Truog-P (mg P ₂ O ₅ /100g)	CEC (me/100g)	交換性塩基(mg/100g)			全塩基量 (me/100)	塩基飽和度 (%)	P吸収係数
						K ₂ O	MgO	CaO			
沖積土	(1)	施設(ハウス)	6.19±0.68	182.3±102.1	23.70±6.87	97.6±51.3	116.2±54.5	485.2±191.6	25.20±8.82	109.6±35.3	955±323
	(2)	軟弱野菜畑	6.45±0.53	106.1±70.2	16.94±6.44	86.4±56.9	79.0±36.0	393.2±125.6	15.25±6.33	91.0±21.5	756±321
	(3)	タマネギ畑	6.24±0.54	125.1±58.9	20.58±4.87	66.4±31.9	61.0±42.4	387.2±167.8	19.20±4.80	89.5±20.7	666±326
	(4)	アスパラガス畑	5.69±0.55	80.6±60.8	19.84±5.57	56.9±21.9	37.6±17.1	360.7±199.2	13.55±5.60	67.8±18.8	879±299
	(5)	一般野菜畑	6.11±0.72	74.8±55.5	21.39±6.90	49.5±30.3	49.8±27.5	323.2±142.6	17.31±6.98	82.7±30.1	740±169
	(6)	一般畑作畑	5.97±0.61	18.7±14.1	23.10±6.72	37.7±33.3	45.6±24.0	274.1±129.6	17.03±7.87	75.2±27.7	888±298
泥炭土	(1)	施設(ハウス)	6.32±0.82	240.8±199.2	31.6±8.29	134.3±74.7	110.5±45.9	738.9±267.1	34.8±12.8	111.6±31.1	—
	(2)	軟弱野菜畑	6.02±0.66	135.7±47.0	33.37±9.64	88.7±31.0	49.0±23.6	708.3±309.7	29.63±12.27	86.8±27.5	—
	(3)	タマネギ畑	6.23±0.34	147.5±47.9	27.80±5.90	71.0±21.4	69.6±17.7	562.0±152.1	24.7±6.2	90.1±17.5	—
	(4)	アスパラガス畑	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(5)	一般野菜畑	5.84±0.66	52.6±66.8	27.26±10.32	45.7±26.5	49.8±16.7	358.0±128.8	16.32±5.30	63.9±18.1	—
	(6)	一般畑作畑	5.65±0.40	17.4±10.3	25.1±5.2	—	—	—	14.79±6.21	56.5±14.2	—
火山性土	(1)	施設(ハウス)	6.28±0.45	108.4±74.9	13.7±3.8	41.2±41.7	69.7±52.0	333.9±162.6	16.1±7.9	120.4±59.3	676±213
	(2)	軟弱野菜畑	6.18±0.72	55.7±46.2	23.3±9.0	109.0±65.8	47.3±26.3	449.6±238.1	20.73±10.73	88.9±29.5	—
	(3)	タマネギ畑	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(4)	アスパラガス畑	5.61±0.57	44.5±38.1	19.80±6.60	42.3±19.6	25.1±14.7	236.5±138.9	10.61±5.69	57.1±28.7	1105±480
	(5)	一般野菜畑	6.10±0.47	40.2±36.6	13.46±7.63	28.3±20.1	34.1±19.8	226.8±92.2	10.49±4.22	80.7±26.6	719±213
	(6)	一般畑作畑	5.65±0.58	20.6±15.4	18.44±9.69	32.0±19.0	15.9±12.6	245.0±156.1	10.00±5.65	61.2±32.6	1110±737
洪積土	(1)	施設(ハウス)	6.30±0.51	188.0±96.6	20.99±20.77	87.1±43.1	85.7±53.7	350.6±271.0	18.64±12.22	108.7±42.9	571±173
	(2)	軟弱野菜畑	6.34±0.75	86.7±55.7	28.03±5.16	107.3±43.4	55.8±24.8	654.9±279.4	28.35±11.24	99.3±28.7	1313±152
	(3)	タマネギ畑	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(4)	アスパラガス畑	5.56±0.51	44.5±36.0	20.75±8.63	58.4±21.7	27.6±15.8	215.6±103.6	10.65±4.91	53.1±19.6	1130±419
	(5)	一般野菜畑	5.72±0.52	31.5±25.6	23.79±5.84	51.4±25.9	44.7±25.0	335.5±147.3	15.31±6.10	63.8±18.2	1190±354
	(6)	一般畑作畑	5.65±0.50	23.0±14.7	24.92±7.4	41.3±22.0	38.7±30.7	309.6±166.3	13.84±6.48	55.1±17.1	1208±338

注 1) 全塩基量は、交換性のK₂O+MgO+CaO量で示した。

2) 表示は、平均値±標準偏差で示した。

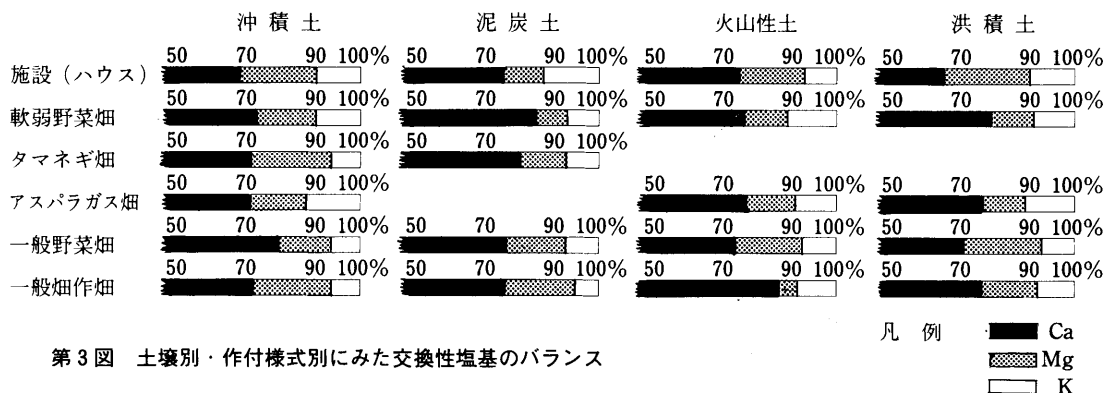
2) 塩基蓄積の特異性

第6表によると、①ハウス栽培土壌は各塩基の蓄積が著しいが、取りわけ交換性Mg量が多く、②軟弱野菜畑は土壌によりその特徴が異なり、洪積土、火山性土では交換性KとCaの蓄積が進み、沖積土では交換性Ca、Mg量が、泥炭土では交換性Mg量が逆に少なく、③タマネギ畑は一般野菜畑、一般畑作畑より常に各塩基蓄積量が多く、④アスパラガス畑は、交換性Kが特異的に蓄積しており、⑤一般野菜畑・一般畑作畑は、概して塩基量が少なかった。

交換性のCa:Mg:Kの比率(当量比)は5:2:1が妥当とされ⁸⁹⁾、それを百分率に換算すると、

62.5:25.0:12.5となる。この値に若干上乘せし、全塩基に占めるCaの割合が70%以上の場合をCa優位状態、Mgの割合30%以上をMg優位状態、Kの割合10%以上をK優位状態と見なした。

この規準に基づいて検討すると、沖積土・洪積土のハウス栽培以外、すべての作付様式・土壌において、Ca優位またはその傾向を示した。しかも、火山性土の一般畑作畑を除いて、その変異係数は小さく、蓄積量の多少に対応して、Ca中心の塩基蓄積が進んでいた。そのような中で、沖積土・洪積土のアスパラガス畑、軟弱野菜畑、泥炭土のハウスはCa-K優位の状態にあった(第3図)。

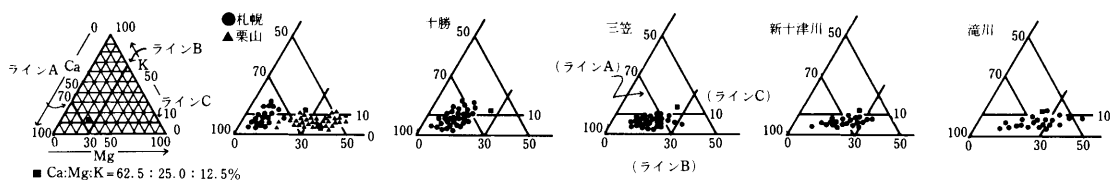


第3図 土壌別・作付様式別にみた交換性塩基のバランス

土壌別・作付様式別にはMg優位傾向は認められなかったが、沖積土壌のタマネギ畑を例に、塩基三角図(第4図)を用いてこの点の検討を行った。なお、塩基三角図の各軸はCa, Mg, Kをmeで表示した百分率組成を示し、図内のどの交点も、3者の合計は100となる。図中の■印は、望ましい塩基バランス点(62.5:25.0:12.5)であ

り⁸⁹⁾、ラインAはCa70%、ラインBはMg30%、ラインCはK10%基準線を表わしている。

第4図によると、三笠地区はCa優位、札幌・十勝地区はCa優位またはCa-K優位、新十津川、滝川、特に栗山地区において、Mg優位のほ場が認められた。



第4図 タマネギ畑のCa, Mg, Kバランスを示す三角図

3) P蓄積と塩基蓄積

作付様式別・土壌別にTruog-P量と塩基飽和度、全塩基量、各塩基量との間の相関係数を算出した(第8表)。その結果によると、各作付様式ともTruog-P量と塩基飽和度の間に正の相関関係が、また、軟弱野菜畑、一般畑作畑以外では、Truog-P量と全塩基量の間により高い相関関係が認められた。なお、Ca, Mg, Kの3塩基量との間にも、各種作付様式において正の相関関係が

認められるが、中でもTruog-P量とK量の間には、軟弱野菜畑以外で高い正の相関関係が成り立った。

一方、土壌別にみると、全土壌で、有効態P量と各塩基量、全塩基量、塩基飽和度との間に正の相関関係が認められ、中でも沖積土、泥炭土においてはK量との間に、火山性土においてはMg量との間に、より高い相関関係が成り立った。

第8表 作付様式別・土壌別にみたTruog-P量と各種塩基含有量間の相関係数

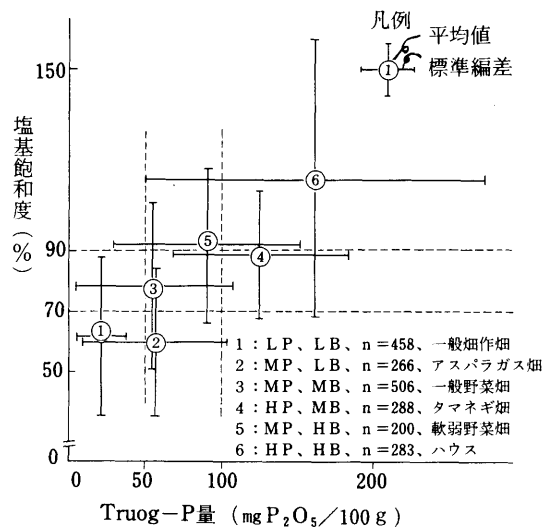
区分 調査点数 項目	作 付 様 式 別						土 壌 別			
	ハウス 283	軟弱野菜畑 200	タマネギ畑 288	アスパラガス畑 266	一般野菜畑 505	一般畑作畑 458	沖積土 827	泥炭土 251	火山性土 548	洪積土 279
塩 基 飽 和 度	0.332**	0.285**	0.183**	0.342**	0.326**	0.201**	0.413**	0.579**	0.636**	0.645**
全塩基(me/100g)	0.568**	0.046	0.242**	0.346**	0.368**	0.163**	0.400**	0.656**	0.409**	0.336**
交換性K(%)	0.517**	-0.030	0.389**	0.458**	0.418**	0.137**	0.433**	0.700**	0.272**	0.635**
交換性Mg(%)	0.410**	0.040	0.034	0.444**	0.419**	0.012	0.359**	0.468**	0.529**	0.544**
交換性Ca(%)	0.534**	0.049	0.217**	0.256**	0.339**	0.165**	0.315**	0.629**	0.309**	0.296**

注) **:1%水準で有意 * :5%水準で有意

4) 養分蓄積に基づく畑土壌の類型化

第5図に、各作付様式別のTruog-P量と塩基飽和度を平均値±標準偏差で示し、取りまとめた。なお、この図作成に当りTruog-P量については、0~50, 50~100, 100<, mgP₂O₅/100g乾土を、それぞれP低(LP), P中(MP), P高(HP)蓄積状態とみなし、塩基飽和度については、90%以上, 90~70%, 70%以下をそれぞれ塩基高(HB), 中(MB), 低(LB)蓄積状態とみなした。

第5図によると、①一般畑作畑はLP・LB状態、②アスパラガス畑はMP・LP状態、③一般野菜畑はMP・MB状態、④タマネギ畑はHP・MB状態、⑤軟弱野菜畑はMP・HB状態、⑥ハウス土壌はHP・HB状態にあった。



第5図 Truog-P量と塩基飽和度による土壌中養分蓄積の類型化

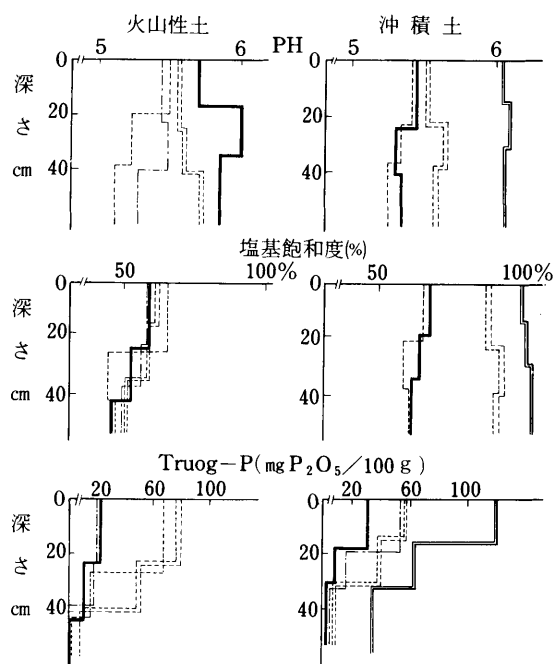
注) LP : Truog-P₂O₅ 50mg以下
 MP : " 50~100mg
 HP : " 100mg以上
 LB : 塩基飽和度 70%以下
 MB : " 70~90%
 HB : " 90%以上

5) P・塩基の垂直分布

第6表に示した調査結果の内、下層まで調査を行った事例を集め、それらの平均値より、P・塩基の垂直分布図を作図した(第6図)。

Truog-Pについてみると、沖積土ではタマネギ畑において、一般畑作畑、一般野菜畑に比べ、第1層の蓄積が著しく、かつ土層深部まで蓄積が進行していた。一方、一般野菜畑・アスパラガス畑の、第1層の蓄積量は一般畑作畑より明らかに多いが、アスパラガス畑は第2層より、一般野菜畑は第3層より同程度となった。火山性土においては、タマネギ畑の調査事例を含まないが、他はほぼ沖積土と同様な傾向を示し、ナガイモ畑は、その収穫作業(トレンチャーでの掘取り)の特殊性を反映し、第1・2層の蓄積量は少なく、比較的一様な分布をしていた。

PH及び塩基飽和度についてみると、沖積土の垂直変化は火山性土に比べて小さく、タマネギ畑・一般野菜畑では第1層より第2・3層の飽和度・PHがやや高まり、アスパラガス畑・一般畑作畑においては逆にやや低下した。火山性土の塩基飽和度は下層に進むにつれ低下するが、その変化はアスパラガス畑で激しく、ナガイモ畑で小さかった。なお、PHは下層に向って塩基飽和度が低下するにつれ、アスパラガス畑・ナガイモ畑では下



第6図 Truog-P・塩基の土壌中における垂直分布状況

注) — : タマネギ畑 - - - : ナガイモ畑
 — — : 一般畑作畑
 - - - - : アスパラガス畑 : 一般野菜畑

がるが、一般野菜畑・一般畑作畑では沖積土のタマネギ畑・一般野菜畑と同様、逆に高まった。

第2節 養分蓄積に関与する諸要因

1. 目的

土壌中の養分蓄積に関与する諸要因として、①施肥・肥培管理の違い、②被覆条件の有無(ハウスと露地)、③連作野菜畑における栽培年数などを考慮して、それらの影響を明らかにしようとする。なお、施肥とは作付ごとの作物に対する、主として3要素(N, P, K)の供給を、肥培管理とは有機・無機の土壌改良資材の施用を指すことにする。

2. 調査方法

第1節で述べた調査の内より、本節に関連する部分を取り出し、整理・記載する。

1) 施肥・肥培管理状況調査: 第4表に示した

全調査地域を対象に施肥並びに改良資材の施用量について、アンケート調査、または直接的な聞き取り調査を行い、回収し得た施肥事例1,358件、改良資材の施用事例876件を、一般畑作物(秋播コムギ、バレイショ、ビート)、一般野菜(ハクサイ、メロン、トマト、キュウリ)、連作野菜(アスパラガス、タマネギ)、軟弱野菜(ホウレンソウ)に区分し取りまとめた。

2) タマネギ畑の調査: 栽培年数の明らかな石狩45, 空知39, 上川36, 十勝26, 計146カ所のタマネギ畑についてP蓄積を検討した。土壌はすべて沖積土である。

3) ハウス土壌の調査: 沖積土に限定し、同一

農家の近接した露地野菜畑（一般野菜畑62戸，軟弱野菜畑56戸）とハウスの土壌を採取（0～20cm部）し， Truog-P ，交換性塩基量，また，場合によつて無機態-N量を測定した。

調査地は，三笠市（調査戸数：露地野菜畑－ハウス：26－30，以下同じ），美唄市（9－12），月形町（11－11），旭川市（44－51），富良野市（28－36）の5地区で，調査戸数は露地野菜畑118戸，ハウス140戸である。なお，ハウス土壌の点数が露地畑より多いのは，一つの露地畑を対照として複数のハウスから土壌を採取したためである。また，軟弱野菜畑の対象ハウスの作物は，すべてホウレンソウである。

さらに，三笠市唐松の3農家（北光男氏，佐藤慶治氏，鳩繁氏）において，近接した一般野菜畑（露地），小型ハウス（栽培期間のみビニール被覆），大型固定ハウス（周年栽培で周年被覆）を対象に表層（0～20cm部）及び下層（20～40cm部）の土壌を採取した。

3. 結 果

1) 施肥・肥培管理の相違

各作物に対する農家慣行3要素施肥量を第9表に取りまとめた。一般畑作物については，秋播コムギ＜バレイショ＜ビートの順に施肥量が多い傾向が認められた。一般野菜の中で比較的施肥量の少ないハクサイの場合，N施肥量はビートと同程度であるが，P・K施肥量は少ない。しかし，ビートが一年一作であるのに対し，ハクサイは通常前作もしくは後作に，他作物が栽培されるため，同一ほ場に対する年間施肥量はビートと同程度もしくは多くなるものと推測した。一方，果菜（トマト，キュウリ）に対するN・K施肥量は，ビートより明らかに多く，連作野菜のアスパラガスに対

するN施肥量，タマネギに対するP施肥量が著しく多かった。

また，各要素の施肥量間に多くの場合，正の相関関係が成り立ち，施肥が化成肥料を中心に行われていることを示唆した。取りわけ，極めて高い相関係数を示すアスパラガスの場合は，アスパラ化成764（17－16－14）単用が全体の80％近くを占めていた。

次に，有機・無機の土壌改良資材施用状況について検討した（第10表）。無機資材は，①P資材（溶りん，苦土重焼りん，過石，重過石など）と，②Ca資材（炭カル，消石灰，苦土炭カル，貝化石など）に，有機資材は，①堆厩肥（堆肥，厩肥，稲ワラ堆肥，パーク堆肥，コンポストなど）と，②有機質資材（ヌカ類，カス類など）に区分した。

資材施用農家割合は一般畑作物に比べて一般野菜畑で多く，タマネギ畑，軟弱野菜畑で90％を超え，アスパラガス畑で最も低かった。そのため，全体的には，アスパラガス畑＜一般畑作物＜一般野菜畑＜軟弱野菜畑≦タマネギ畑の順に，資材施用事例が多くなる傾向にあった。

次に，各作物別に調査農家の資材施用割合が25％を超える資材を，その作物に対する基幹資材と仮定するならば，①水田転換3年未満の秋播コムギ畑は，P－Ca資材により肥培がなされ，②バレイショ，ビートは堆肥を中心に，肥培管理が行われていた。それに対し，③Ca－堆肥を中心に，ハクサイ，メロン，ホウレンソウ畑は肥培管理され，かつ，その順序に施用量も高まっていた。一方，④トマト，タマネギは4資材高レベル型の高度な肥培管理が行われ，逆に，⑤アスパラガスは全資材低レベル型の粗放な肥培管理がなされていた。

第9表 作付様式別にみた農家の施肥実態

項目 作付様式別	作物	調査点数	三要素施肥量(kg/10a)			各施肥量間の相関係数			主なる調査地
			N 平均値±標準偏差	P ₂ O ₅ 平均値±標準偏差	K ₂ O 平均値±標準偏差	N-P	N-K	P-K	
一般畑作物	秋コムギ	n=99	7.4±2.5 100	9.0±3.4 122	8.6±2.4 116	-0.021	0.917**	0.197	三笠、岩見沢、北村
	バレイショ	n=44	12.0±3.9 100	20.4±6.8 170	15.7±4.9 131	0.722**	0.774**	0.686**	栗山、由仁、浦臼、長沼
	ピート	n=118	20.3±4.4 100	33.4±8.0 165	20.1±4.9 99	0.394**	0.467**	0.180	真狩、千歳、洞爺、恵庭、富良野、伊達、網走、小清水
一般野菜	ハクサイ	n=42	20.2±6.6 100	17.0±5.8 84	15.6±5.8 77	0.091	0.229	0.085	千歳、伊達
	メロン	n=108	20.4±6.0 100	30.4±11.2 149	21.0±5.3 103	0.667**	0.764**	0.644**	三笠、夕張、月形、栗山、山部 [○]
	トマト	n=69	32.5±12.6 100	40.4±25.5 124	34.5±10.2 106	0.144	0.414**	0.287*	三笠、夕張、江別
	キュウリ	n=39	33.8±7.1 100	28.5±9.3 84	33.0±4.9 98	0.584**	0.684**	0.652**	三笠、栗山
連作野菜	アスパラガス	n=181	29.4±11.0 100	29.5±11.2 100	23.5±8.8 80	0.877**	0.906**	0.904**	喜茂別、美瑛、厚沢部、森、夕張、伊達、倶知安、芽室、更別、富良野、平取
	タマネギ	n=465	22.6±10.3 100	51.6±26.8 228	23.4±5.5 104	0.235**	0.301**	0.344**	富良野、滝川、中富良野、栗山、新十津川、札幌、三笠、芽室、音更、岩見沢、北村
軟弱野菜	ホウレンソウ	n=127	22.6±10.5 100	17.0±9.1 75	17.1±8.2 76	0.468**	0.748**	0.719**	札幌、旭川、函館、三笠、富良野
ハウス	ハクサイ	n=33	29.1±16.0 100	31.6±21.7 109	24.6±13.6 85	0.611**	0.899**	0.738**	大野

注) **:1%水準で有意 * :5%水準で有意 ○:聴取り調査のみ

第10表 作付様式別にみた農家の土壌改良資材施用実態

作付様式別	作物	調査点数	リン酸資材 (P ₂ O ₅ としてkg/10a)		石灰資材 (CaOとしてkg/10a)		堆厩肥 (kg/10a)		有機質資材 (kg/10a)		資材施用 農家割合		併用割合	類型
			施用農家 割合%	平均 施用量	施用農家 割合%	平均 施用量	施用農家 割合%	平均 施用量	施用農家 割合%	平均 施用量	%	%		
一般畑作物	秋コムギ	99	44	9	37	36	0	—	0	—	46	31		リン酸-石灰資材・肥培型
	バレイショ	44	2	9	2	45	48	2,311	0	—	48	4		堆厩肥・肥培型
	テンサイ	118	0	—	3	109	52	3,210	19	112	53	2		堆厩肥・肥培型
一般野菜畑	ハクサイ	42	9	24	49	43	26	304	2	200	63	23		石灰資材-堆厩肥・肥培型
	メロン	108	11	18	31	76	35	2,314	16	250	69	24		石灰資材-堆厩肥・肥培型
	トマト	69	67	39	63	112	58	414	42	228	76	154		全資材高レベル・肥培型
	キュウリ	39	10	18	15	100	38	2,870	26	305	56	33		堆厩肥-有機質・肥培型
連作野菜畑	アスパラガス	181	9	17	22	47	14	294	0	—	31	14		全資材低レベル・肥培型
	タマネギ	114	52	59	95	61	54	2,178	92	280	99	194		全資材高レベル・肥培型
軟弱野菜畑	ホウレンソウ	62	2	15	98	213	57	3,770	6	250	99	64		石灰資材-堆厩肥・肥培型

注) リン酸資材: 苦土重焼燐、ようりん、過石、重過石など, 石灰資材: 炭カル、消石灰、苦土炭カル、具化石など

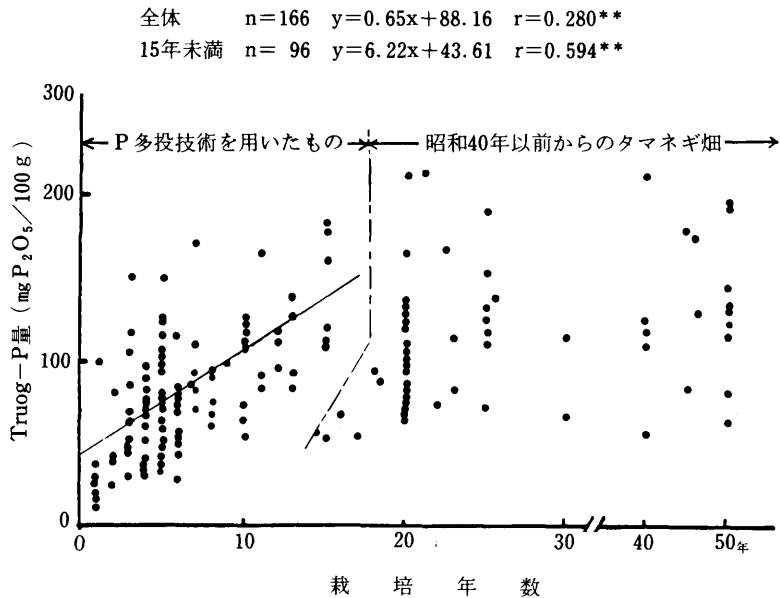
堆厩肥: 堆厩肥、イナワラ堆肥、パーク堆肥など, 有機質資材: ヌカ類、カス類、ケイフンなど

2) 栽培年数・ハウス設置年数と

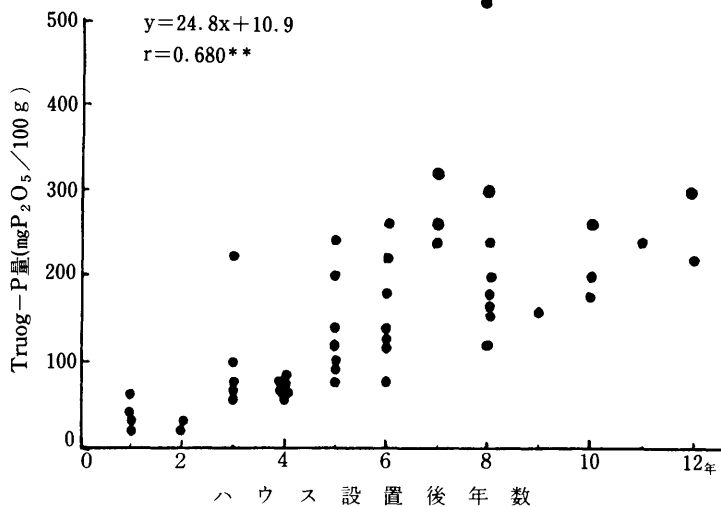
P蓄積

連作野菜畑であるタマネギ畑において、栽培年数と土壌中のTruog-P量の関係を検討した。両者の間には正の相関関係が認められた（第7図， $n=166$ ， $r=0.280^{**}$ ）。しかし、いわゆるP多投による熟畑化技術が導入される以前からのタマネギ畑（昭和40年頃までに熟畑となっていた畑）は栽培年数が長い割に、Truog-P量が少ない事が多く、急激なP蓄積は近年における熟畑化技術の導入によって生じたことを示していた。そこでP多投によるタマネギ畑のみについて、栽培年数とTruog-P量の関係を再検討すると、両者の間には、より高い正の相関関係が成り立ち（ $n=96$ ， $r=0.594^{**}$ ），タマネギ栽培10年後で約100mg $P_2O_5/100g$ のTruog-Pが現行の技術で蓄積することが明らかとなった。

一方、ハウス設置後年数とP蓄積の関係について検討した結果（第8図），設置後年数の増加につれ、土壌中有効態P量が明らかに増え、ハウス設置後約5年で約100mg $P_2O_5/100g$ 程度のTruog-Pの蓄積が認められた。



第7図 タマネギ連作畑の栽培年数と土壌中Truog-P量の関係



第8図 ハウス設置後年数と土壌中Truog-P量の関係

3) 被覆条件と養分蓄積

第11表 近接したハウスと露地野菜畑の土壌化学性の比較

項目 被覆 条件	調査 点数	PH (H ₂ O)	EC (ms/cm)	交換性塩基 (mg/100 g)			C E C (m·e/100g)	塩基飽和度 (%)	Truog-P (mg P ₂ O ₅ /100g)
				K ₂ O	MgO	CaO			
ハウス	140	6.2	0.74	97.6	116.2	485.0	23.7	109.6	182
		(10.9)	(69.6)	(52.5)	(46.9)	(46.9)	(29.0)	(32.4)	(56.0)
露地	118	6.2	0.17	50.7	47.1	385.0	20.4	84.4	84
		(11.6)	(76.8)	(60.5)	(52.1)	(44.7)	(28.2)	(35.8)	(72.0)

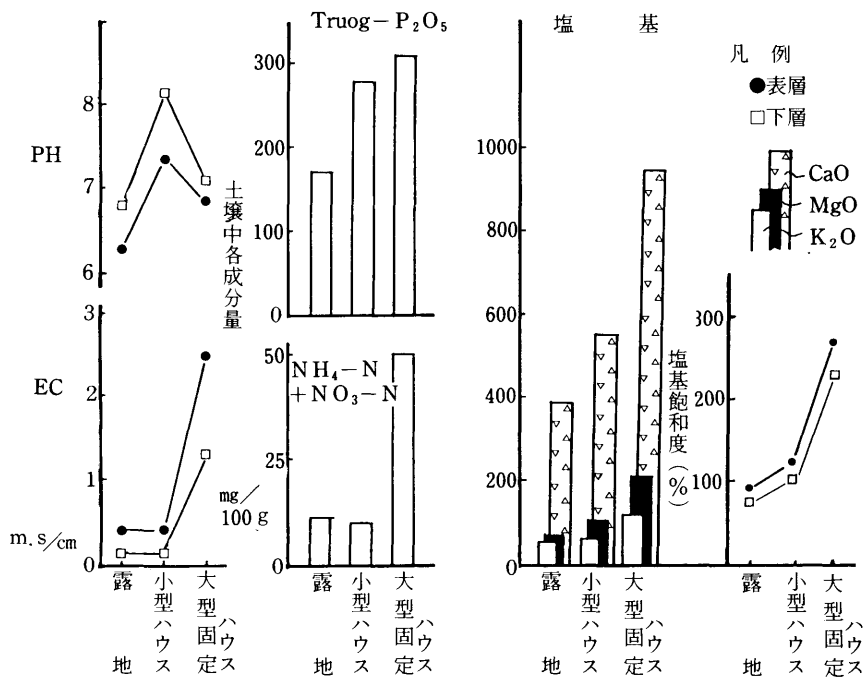
注) () 内は変異係数

一般野菜畑土壌(露地)とハウス土壌を比較検討した結果(第11表), 一般野菜畑に比べハウス土壌で著しく有効態P・塩基蓄積量が多かった。また, 表示しなかったが, 塩基バランスは, 一般露地野菜畑に比べ, ハウス土壌においてMgの割合が高まっていた。

さらに, 同一農家の近接した露地野菜畑, 小型ハウス(栽培期間のみ被覆), 大型固定ハウス(周年被覆)において, 養分蓄積状況を詳細に検討した結果(第9図), EC値は, 表層・下層とも露地野菜畑 $\leq$ 小型ハウス<大型固定ハウスの順に高まり, 無機態N(NH₄-N+NO₃-N)の集積量とよ

く一致した。一方, PHは露地野菜畑<大型固定ハウス<小型ハウスの順に低下し, かつ表層のPHが下層より低かった。しかし, 交換性Ca量は明らかに, 露地野菜畑<小型ハウス<大型固定ハウスの順に増加し, 塩基飽和度もこの順に高まっていた。また, 表層の交換性Ca量あるいは塩基飽和度が下層より劣ることはなかった。

これらの結果は, 被覆条件が長期になるほどP・塩基の蓄積に加え, N集積が進行することを示し, また, N集積が著しい大型固定ハウスでは, N集積量の多少がPHに関与している可能性を示唆した。



第9図 近接した被覆条件の異なるほ場における養分蓄積状況の違い

注) 三農家の養分蓄積の状況には本質的な違いがないので, 平均値で表示した。

なお, 土壌の採取は栽培期間(初期)中に行った。

第3節 考 察

野菜栽培土壌における土壌養分の挙動は、露地野菜畑の溶脱・酸性化^{64, 133, 146})と、施設(ハウス)における塩類集積^{6, 106, 109, 170})に大別し得る。まず、露地野菜栽培においては、温暖多雨な気象条件に加えて、N多肥により溶脱が促進され^{61, 145})、土壌酸性化に伴う生産力低下が重要な問題として、府県において古くから指摘されている。

しかし、北海道の露地野菜畑において、酸性化の兆しは最も粗放な肥培管理がなされているアスパラガス畑においてのみ認められ²⁰⁵)、その他の野菜栽培土壌の塩基は一般畑作畑に比べ増加傾向にある(第6表、第2図)。また、土層断面の垂直分布を検討しても、愛知県の沖積土野菜地帯において嶋田ら¹⁶⁷)が指摘したような下層土の酸性化は生じていない(第6図)。ここに北海道の露地野菜畑における土壌養分蓄積の特徴が認められる。

このような差異が生ずる要因の一つとして、府県に比べ北海道における降雨量の少なさを指摘し得る(第3表)。さらに、被覆資材の急速な普及拡大により、完全な被覆条件(ハウス)以外に、寒地北海道での野菜栽培において気温・地温確保のためトンネル栽培・マルチ栽培が広がり、露地野菜畑においてすら、土壌が部分的に降雨からしゃ断される期間が長期化し、溶脱を受けにくく、施用された肥料成分が蓄積しやすくなっている。すなわち、北海道における露地野菜畑は、ハウス土壌的傾向を強め、土壌養分は溶脱よりも集積方向へ推移している。

このように、被覆資材の発達と少降雨条件が北海道の露地野菜畑の塩基蓄積を支えている一つの条件であるが、土壌の養分蓄積に最も強く影響を及ぼしているのは、人為的な施肥・肥培管理技術の差異である。事実、野菜畑をも含めた北海道の畑土壌において、施肥と肥培管理法の差異を反映した作付様式の違いが、一定の養分蓄積順序を各土壌にもたらしめている(第1図、第2図)。その養分蓄積順位は、施肥(第9表)と肥培管理(第10表)技術の粗密とほぼ一致し、塩基蓄積では施設

(ハウス)土壌>軟弱野菜畑・タマネギ畑 $\geq$ 一般野菜畑>一般畑作畑 $\geq$ アスパラガス畑の順で、P蓄積ではハウス土壌>タマネギ畑・軟弱野菜畑 $\geq$ アスパラガス畑 $\geq$ 一般野菜畑>一般畑作畑の順で蓄積が進んでいる。

野菜栽培土壌におけるP蓄積は近年、府県においても指摘され^{206, 236, 240})、全国的な共通の傾向である。しかし、作付様式で示される施肥と肥培管理の相違に基づく養分蓄積の一環として、P蓄積を体系的に把握しようとする試みは少ない。

一方、ハウス土壌において養分蓄積は、府県の多くの報告^{106, 109, 170, 220})と同様に、P・塩基の蓄積に加うるに、N集積が認められる。このN集積こそ、P・塩基蓄積が露地野菜畑と共通的現象であることを考慮するならば、ハウス土壌の特異的問題と言える。なお、被覆条件に伴う養分蓄積の進行は、近接した露地野菜畑、小型ハウス(栽培期間のみ被覆)、大型固定ハウス(周年被覆条件)において、被覆期間が長くなるほど養分蓄積が著しく進行する事実(第9図)、あるいは広くハウスと露地野菜畑の養分蓄積状況を比較検討した結果(第11表)からも明白である。

ところで、北海道発展計画及びそれに基づく北海道施肥標準⁴⁹)設定時の目標収量は、土壌本来の自然肥沃度の相違に基づく生産力の差異を想定しており、稲作転換3年未満の秋播コムギ畑の調査結果から、想定された生産力の順位と同傾向の塩基蓄積が、沖積土、泥炭土、洪積土の3土壌間に認められる事実をすでに報告¹⁹⁸)している。また、広く一般畑作畑及び一般野菜畑のP・塩基蓄積の検討からも、沖積土>泥炭土・火山性土>洪積土の順に蓄積量が低下し、土壌間差異が認められる(第7表)。

このような養分蓄積に関する土壌間差異は、施肥・肥培管理技術が粗放で養分蓄積程度の低い一般畑作畑やアスパラガス畑において明らかであるが、施肥・肥培管理技術の高度集約化につれ判然としなくなり、軟弱野菜畑・ハウス土壌では認められなくなる(第7表)。すなわち、人為的要因の強化によって自然肥沃度を反映した土壌間差異が消失する。

以上の結果は、次のことを明らかにした。①畑土壌全体を通して、施肥と肥培管理技術の違いが養分蓄積を最も強く規制し、自然肥沃度の差異を反映する養分存在量の土壌間差異は施肥・肥培管理技術の高度集約化につれ消失する。②また、同一施肥・肥培管理下にある同一作付様式では、栽培年数の増加につれ養分蓄積が進み（第7図、第8図）、③さらに被覆条件の有無、被覆期間の長短が養分蓄積量のみならず、N集積現象で示されるような養分蓄積の質的な変化をもたらす。そして、野菜栽培土壌全体を通覧して結論付けるなら、養分蓄積程度は人為的要因に強く影響されている。

次に、人為的要因を強く反映した野菜栽培土壌の養分蓄積程度を示す指標として、P蓄積量の意義について検討する。Pは土壌中で一般的に移動しにくく、N・塩基に比べ溶脱量が少ない^{142, 155, 227)}。また、N・Kに比べ作物の吸収量も比較的少なく^{43, 120)}、ほ場への残存量が多い。そのため肥料・資材としての累積施用量の多少を最もよく反映している。換言するならば、人為的な営農活動の濃淡を示す指標となり得る。事実、タマネギ畑やハウス土壌において栽培年数、設置後年数の経過につれ、P蓄積は明らかに増加し（第7図、第8図）、アスパラガス畑においても定植後経過年数との間に高い正の相関関係が認められる²⁰⁵⁾。

それに対し、無機態Nは作物による吸収量が多く⁴³⁾、かつ降雨により溶脱を受けるため^{167, 168)}、土壌中の存在量は変動が激しく、Kもまた同様な傾向にある^{43, 132)}。一方、Caは溶脱を受けやすく^{164, 165)}、また、N施肥量の多少によって溶脱量が異なる^{145, 167)}。そしてMgは特異的に高含量を示す蛇紋岩の影響を受けた土壌が北海道において散見される^{90, 130)}。そのため、人為的な施肥と肥培管理技術の粗密を反映する養分蓄積程度を示す指

標として、Pが妥当であると結論付けた。

土壌中のP蓄積の進行は塩基蓄積を一般的に随伴する（第8表）。しかし、P蓄積と塩基蓄積が常に等量的に進行するのではなく、各作付様式別に、その施肥と肥培管理の特色を反映するため、P・塩基蓄積状況が異なり、①低P・低塩基蓄積型（一般畑作畑）から、P・塩基蓄積が比較的等量的に進んだ②中P・中塩基蓄積型（一般野菜畑）と、③高P・高塩基蓄積型（ハウス土壌）以外に、P蓄積がやや優位に働いた④中P・低塩基蓄積型（アスパラガス畑）、⑤高P・中塩基蓄積型（タマネギ畑）、そして塩基蓄積がやや優位に進んだ、⑥中P・高塩基蓄積型（軟弱野菜畑）に畑土壌を類型化し得た。

これらは一面、現行の技術体系の特色を現わすとともに、畑土壌における養分蓄積状況の特徴が人為的要因によって強く影響されている証左でもある。また、このような類型化は現行の施肥・肥培管理体系の問題点を明らかにし、その改善を図る基礎的資料となり得る。

ところで、作付様式別に認められた塩基蓄積の特異性は、多くの野菜畑でCa優位、Ca-K優位の塩基蓄積が進行していることを示しているが、K蓄積については、府県の野菜栽培土壌においてK偏用土壌^{132, 233)}として古くから指摘されている。しかし、Ca蓄積についてはコンニャク畑の優良事例としての報告⁹⁴⁾がある程度で、全体的なCa優位の塩基蓄積は北海道の野菜畑土壌の特徴と言える。なお、このような塩基蓄積の特異性は、地域間にも認められ、その要因として、土壌のMg含有量のように母材の影響を強く受ける場合と、地域独特の施肥・肥培管理による場合とがある。