

# 土壤の易分解性有機物に対するコロイド 画分中の窒素の寄与とその組成について

丸本卓哉\*・進藤晴夫\*・東 俊雄\*

## 1. 緒 言

土壤有機物の大部分は難分解性であるが、乾燥<sup>1-3)</sup>、地温上昇<sup>4)</sup>、腐植解膠<sup>2)</sup>などの処理によってその一部の無機化が促進されることが知られている。この無機化が促進される有機物画分は土壤の易分解性有機物と呼ばれており、土壤の肥沃度と深い関連を有すると考えられている。

ATKINSON<sup>5,6)</sup>らは TYULIN 法<sup>7)</sup>による土壤コロイド画分と土壤肥沃度との関連を論じ、G<sub>1</sub>コロイド画分は肥沃度とは深い関係を有すると報告している。また、原田<sup>2)</sup>も同様の方法を用いて腐植粘土膠質複合体と易分解性窒素との関連についてくわしい研究を行ない、水田土壤の易分解性窒素の大部分は、いわゆる TYULIN の膠質複合体の G<sub>1</sub> および G<sub>2</sub> 画分に存在する有機態窒素の一部であり、土壤の乾土効果に由来する易分解性窒素の大部分は G<sub>1</sub> 画分にあることを報告している。しかしながら、土壤の易分解性有機物に対するコロイド画分中の窒素の寄与に関する報告は少なく、また、その組成については報告されていない。

そこで、本実験においては、熱乾-湿潤処理をくり返し施して易分解性有機物を消耗させた土壤を調製し、消耗土壤と未消耗土壤を以下に述べる方法でそれぞれ分析し、土壤の易分解性有機物に対するコロイド画分中の窒素の寄与とその組成について考察した。

## 2. 実験方法

### 1) 供試土壤

長崎県諫早市干拓地、山口大学農学部附属農場および大分県農技センターの水田作土層の土壤を用いた。土壤の理化学的性質は既報<sup>8)</sup>で示したとおりである。

### 2) インキュベートの方法

100 ml 容の三角フラスコに湿潤細土の乾土 10 g 相当量を秤取した。土壤の水分を最大容水量の 60% に調節したのち、フラスコの口をポリエチレン膜で覆い、30°C で 15 週間インキュベートした。この間、3 週間ごと

に水分を補正した。この土壤を対照土とする。別に、同様に秤取した湿潤細土を 80°C で 2 時間乾燥し、冷後、イノキュラム (各土壤の水懸濁液 1:5) を 0.5 ml 添加したのち、水分を対照土と同様に調節し、30°C で 3 週間インキュベートした。そして、ふたたび 80°C で 2 時間乾燥し、続いて上記と同様の処理を行なうことを合計 5 回くり返した。この土壤を熱乾土とする。

### 3) 土壤の分画と調整法

15 週間インキュベートした対照土および熱乾土をとりだし、TYULIN 法<sup>7)</sup>に準じて分画した。その概略は以下のとおりである。(a) R<sub>0</sub> 画分: 10g の土壤に 1N の塩化ナトリウム溶液 50 ml を加え 1 時間往復振盪機で振盪したのち、一夜静置した。そして吸引濾過し、濾紙上の土を濾液に Cl<sup>-</sup> の反応が消失するまで純水で洗浄したのち風乾して R<sub>0</sub> 画分とした。(b) R<sub>1</sub> 画分: 上記と同様に塩化ナトリウム溶液に浸漬して一夜静置したのち、水中に懸濁させ、沈降法によって 2 μ 以下の粘土画分 (G<sub>1</sub>) を除去した。残りは吸引濾過したのち風乾して R<sub>1</sub> 画分とした。(c) R<sub>2</sub> 画分: R<sub>1</sub> 画分を 0.01 N の塩酸 50 ml で洗浄したのち水に懸濁し、0.01 N の水酸化ナトリウム溶液で pH 9 に調節した。その結果分散してくる 2 μ 以下の粘土画分 (G<sub>2</sub>) を除去した。残りの土壤は希塩酸を加えて pH 7 としてから吸引濾過し、濾紙上の土を水で十分洗浄したのち風乾して R<sub>2</sub> 画分とした。(d) G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> 画分: G<sub>1</sub> 画分は R<sub>0</sub> 画分から R<sub>1</sub> 画分を、G<sub>2</sub> 画分は R<sub>1</sub> 画分から R<sub>2</sub> 画分を差し引いて求めた。

上記の分画によって得られた各画分の回収率は第 1 表に示すとおりである。諫早、山口大、大分土壤の粘土含量はそれぞれ 59.1, 22.0, 27.5% であるので、対照土の G<sub>1</sub> と G<sub>2</sub> の含量が粘土に対して占める割合はそれぞれ約 82, 53, 63% となる。したがって、山口大と大分土壤においては未分散の粘土画分が R<sub>2</sub>に残っていることを示している。

### 4) 窒素の定量

置換態 N は土壤 10 g に対し 1 N の塩化ナトリウム溶液 50 ml を加えて 1 時間往復振盪したのち濾過し、その濾液についてコンウェイの微量拡散法<sup>9)</sup>によって定量した。全 N はセミマイクロケルダール法<sup>10)</sup>で、有機態 N の

\* 山口大学農学部 (山口市吉田 1677-1)  
昭和 52 年 3 月 28 日受理  
日本土壤肥料学雑誌 第 49 巻 第 2 号 p.111~115(1978)

第1表 各土壌画分の回収率 (%)

画 分*	土 壤				
	諫 早	山口大	大 分		
R <sub>0</sub>	C	98.7	98.2	98.0	
	T	97.2	96.2	94.9	
R <sub>0</sub>	G <sub>1</sub>	C	40.2	7.3	1.0
		T	38.4	5.1	0.9
	R <sub>1</sub>	C	58.5	90.1	97.0
		T	58.8	91.1	94.0
R <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	C	8.2	4.3	16.2
		T	8.3	4.9	13.1
	R <sub>2</sub>	C	50.3	85.6	80.8
		T	50.5	86.2	80.9

\*C: 対照土, T: 熱乾土

分別定量は BREMNER 法<sup>11)</sup>に準じて行なった。この際、アミノ糖態Nについては定量値に係数 1.4 を乗じて求めた。固定アンモニア態Nは BREMNER と SILVA の方法<sup>12)</sup>によって定量し、酸不溶性Nの一部として入ってくる固定アンモニウム態Nの一部も同様の方法によって定量したのち、その値を補正した。

### 3. 実験結果および考察

#### 1) 土壌有機態窒素の無機化促進に対する熱乾処理の効果と熱乾処理によって無機化が促進された有機態窒素の組成

第2表に、原土、対照土および熱乾土の窒素組成を示した。各土壌のN組成に熱乾による影響が認められた。たとえば、有機態Nの無機化を反映する置換態Nの増加

第2表 原土、対照土および熱乾土の窒素組成と熱乾処理によって無機化が促進された有機態窒素の組成

土 壤	全 N	置換態 N	固定態 N	有 機 態 N (mg/100g)							
				全	酸不溶性	酸 可 溶 性				未 知	
						全	アンモニア態	アミノ糖態	アミノ酸態		
諫 早	原土(1)	154.4	3.0	11.3	140.1	25.9	114.2	22.4	16.5	40.3	35.0
	対照土(2)		5.0	10.1	139.3	25.0	114.3	22.6	15.9	36.1	39.7
	熱乾土(3)		26.0	12.4	116.0	22.7	93.3	21.1	7.2	26.7	38.3
	(1)-(3)		(23.0)*		24.1	3.2	20.9	1.3	9.3	13.6	-3.3
山口大	原土(1)	195.0	9.1	31.5	154.4	39.7	114.7	18.0	22.0	44.0	30.7
	対照土(2)		12.0	31.4	151.6	39.0	112.6	17.7	20.3	38.4	36.2
	熱乾土(3)		39.2	34.9	120.9	36.0	84.9	14.8	11.9	27.0	31.2
	(1)-(3)		(30.1)*		33.5	3.7	29.8	3.2	10.1	17.0	-0.5
大 分	原土(1)	422.0	6.3	4.3	411.4	97.3	314.1	52.2	44.8	123.0	94.1
	対照土(2)		18.9	4.1	399.0	98.0	301.0	53.1	40.1	104.4	103.4
	熱乾土(3)		56.1	4.6	361.3	96.8	264.5	50.2	28.6	81.1	104.6
	(1)-(3)		(49.8)*		50.1	0.5	49.6	2.0	16.2	41.9	-10.5

\* (3)-(1)

をみると、諫早、山口大、大分の各土壌でそれぞれ乾土 100g 当たり 23.0, 30.1, 49.8mg となっており、全Nに対してそれぞれ 14.9, 15.4, 11.8% であった。対照土も原土に比べて置換態Nの増加がみられたが、最も多い大分土壌においても熱乾土の場合の 25% にも達しなかった。そして、対照土で無機化された有機態Nは大部分がアミノ糖態Nであり、他のN組成は原土とほとんど差がなかった。

熱乾処理によって無機化が促進される有機態Nは大部分が酸可溶性N中のアミノ酸態とアミノ糖態Nであり、量的には前者の方が多かったが、無機化率では後者の方が高いという結果が示された。これは既報<sup>7,12)</sup>の結果ともよく一致している。

#### 2) 土壌画分中の酸可溶性Nの組成

第3表に対照土の、第4表に熱乾土の R<sub>0</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> および R<sub>2</sub> 画分中の有機態Nの組成を示した。第3表における R<sub>0</sub> の各形態別酸可溶性Nを 100 としたときの各土壌画分の分布割合によれば、(G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>) における酸可溶性全Nは、諫早、山口大、大分の各土壌でそれぞれ約 77, 50, 31% を示した。酸可溶性の形態別Nについてみれば、諫早土壌ではいずれも G<sub>1</sub> に約 50~68% が、(G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>) に約 70~80% が存在し、山口大土壌においても約 50~70% が G<sub>1</sub> と G<sub>2</sub> にあることが示された。しかしながら、山口大土壌は諫早土壌に比べ G<sub>1</sub> における分布割合が低かった。大分土壌の場合、アミノ糖態Nは約 60% が G<sub>1</sub> と G<sub>2</sub> にあったが、他の形態のNは R<sub>2</sub> に多く含まれていた。このように、アロフェンを主要粘土鉱物とする火山灰由来の大分土壌の場合は、モンモリロ

第3表 対照土中の有機態窒素の組成 (mg/100g (%)\*)

土壌画分	有 機 態 N		酸 可 溶 性					
	全	酸不溶性	全				未 知	
			全	アンモニア態	アミノ糖態	アミノ酸態		
諫 早	R <sub>0</sub>	139.3	25.0	114.3(100)	22.6(100)	15.9(100)	36.1(100)	39.7(100)
	G <sub>1</sub>	77.2	12.2	65.0(65.9)	14.4(63.7)	10.6(66.7)	20.3(56.2)	19.7(49.6)
	G <sub>2</sub>	14.2	1.8	12.4(10.8)	2.1(9.3)	1.4(8.8)	6.3(17.5)	2.6(6.5)
	R <sub>2</sub>	47.9	11.0	36.9(32.3)	6.1(27.0)	3.9(24.5)	9.5(26.3)	17.4(43.9)
山口大	R <sub>0</sub>	151.6	39.0	112.6(100)	17.7(100)	20.3(100)	38.4(100)	36.2(100)
	G <sub>1</sub>	33.6	2.5	31.1(27.6)	2.9(16.4)	7.8(38.4)	15.2(39.6)	5.2(14.4)
	G <sub>2</sub>	28.6	3.6	25.0(22.2)	9.3(52.5)	6.4(31.5)	6.2(16.1)	3.1(8.5)
	R <sub>2</sub>	89.4	32.9	56.5(50.2)	5.5(31.1)	6.1(30.1)	17.0(44.3)	27.9(77.1)
大 分	R <sub>0</sub>	399.0	98.0	301.0(100)	53.1(100)	40.1(100)	104.4(100)	103.4(100)
	G <sub>1</sub>	30.9	3.7	26.2(8.7)	3.0(5.6)	9.7(24.2)	12.6(12.1)	0.9(0.8)
	G <sub>2</sub>	79.0	13.2	66.8(22.2)	14.1(26.6)	14.2(35.4)	27.1(26.0)	11.4(11.0)
	R <sub>2</sub>	289.1	81.1	208.0(69.1)	36.0(67.8)	16.2(40.4)	64.7(61.9)	91.1(88.2)

\* R<sub>0</sub>の各形態別酸可溶性Nを100としたときの各土壌画分の分布割合。

第4表 熱乾土中の有機態窒素の組成 (mg/100g)

土壌画分	有 機 態 N		酸 可 溶 性					
	全	酸不溶性	全				未 知	
			全	アンモニア態	アミノ糖態	アミノ酸態		
諫 早	R <sub>0</sub>	116.0	22.7	93.3	21.1	7.2	26.7	38.3
	G <sub>1</sub>	64.0	10.7	53.3	13.5	4.5	14.9	20.4
	G <sub>2</sub>	9.2	2.4	6.8	2.2	0.7	3.1	0.8
	R <sub>2</sub>	42.8	9.6	33.2	5.4	2.0	8.7	17.1
山口大	R <sub>0</sub>	120.9	36.0	84.9	14.8	11.9	27.0	31.2
	G <sub>1</sub>	18.5	1.1	17.4	2.1	5.3	7.6	2.4
	G <sub>2</sub>	20.2	4.3	15.9	7.7	2.5	5.2	0.5
	R <sub>2</sub>	82.2	30.6	51.6	5.0	4.1	14.2	28.3
大 分	R <sub>0</sub>	361.3	96.8	264.5	50.2	28.6	81.1	104.6
	G <sub>1</sub>	19.6	7.5	12.1	1.3	4.3	5.3	1.2
	G <sub>2</sub>	70.9	12.1	58.8	13.3	8.7	24.8	12.0
	R <sub>2</sub>	270.8	77.2	193.6	35.6	15.6	51.0	91.4

ナイトおよびカオリン鉱物を主要粘土鉱物とする諫早および山口大土壌とは異なる傾向を示した。これらの差異の原因については今後の検討が必要である。

一般に耕地土壌にはアミノ糖化合物が5~15%あり<sup>3,13-15</sup>、それは微生物、とくにその細胞壁に由来することが明らかにされている<sup>16,17</sup>。したがって、G<sub>1</sub>とG<sub>2</sub>画分にアミノ糖態Nの大部分が存在しているということは、微生物およびその細胞壁に由来するN化合物がこれらのコロイド画分に多く集積していることを示唆するものである。

### 3) 熱乾処理によって無機化が促進された土壌画分中の酸可溶性Nの組成

前述のように、熱乾処理によって無機化が促進された

Nの大部分は酸可溶性Nである。そこで土壌画分中の各種形態の酸可溶性Nが、熱乾処理によってどのように変動するかを検討した。第3表および第4表に示した対照土および熱乾土の各種形態の酸可溶性Nの値より、熱乾処理によって無機化が促進された量を算出し、第5表に示した。なお、土壌の各画分中の酸可溶性全Nを100としたときの形態別Nの分布割合を( )内に示した。

諫早土壌についてみると、G<sub>1</sub>ではアミノ糖態Nが49.6%、アミノ酸態Nが43.9%であって、両者合わせると酸可溶性全Nのほぼ90%を占めていた。G<sub>2</sub>ではアミノ糖態Nが12.5%、アミノ酸態Nは57.1%であって、両者合わせると酸可溶性全Nの約70%を占めていた。R<sub>2</sub>でも両形態のNが約70%を占めた。山口大お

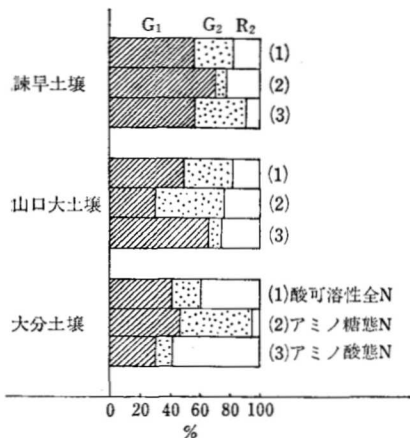
第 5 表 熱乾処理によって無機化が促進された土壤画分中の酸可溶性窒素の形態別分布 (mg/100g(%)\*)

土壤画分	酸 可 溶 性 N					
	全	アノモニア態	アミノ糖態	アミノ酸態	未 知	
諫 早	R <sub>0</sub>	21.6 (100)	1.5 (6.9)	8.7 (40.3)	9.4 (43.5)	2.0 (9.3)
	G <sub>1</sub>	12.3 (100)	0.9 (7.3)	6.1 (49.6)	5.4 (43.9)	—
	G <sub>2</sub>	5.6 (100)	—	0.7 (12.5)	3.2 (57.1)	1.8 (32.1)
	R <sub>2</sub>	3.7 (100)	0.7 (18.9)	1.9 (51.4)	0.8 (21.6)	0.3 (8.1)
山 口 大	R <sub>0</sub>	27.7 (100)	2.9 (10.5)	8.4 (30.3)	11.4 (41.1)	5.0 (18.1)
	G <sub>1</sub>	13.7 (100)	0.8 (5.8)	2.5 (18.2)	7.6 (55.5)	2.8 (20.5)
	G <sub>2</sub>	9.1 (100)	1.6 (17.6)	3.9 (42.9)	1.0 (11.0)	2.6 (28.5)
	R <sub>2</sub>	4.9 (100)	0.5 (10.2)	2.0 (40.8)	2.8 (57.1)	—
大 分	R <sub>0</sub>	36.5 (100)	2.9 (7.9)	11.5 (31.5)	23.3 (63.8)	—
	G <sub>1</sub>	15.1 (100)	1.7 (11.3)	5.4 (35.8)	7.3 (48.3)	0.7 (4.6)
	G <sub>2</sub>	7.0 (100)	0.8 (11.4)	5.5 (78.6)	2.3 (32.9)	—
	R <sub>2</sub>	14.4 (100)	0.4 (2.8)	0.6 (4.2)	13.7 (95.1)	—

\* 各土壤画分中の酸可溶性全Nを 100 としたときの形態別窒素の分布割合。

よび大分土壤についても同様の傾向がみられ、アミノ糖態とアミノ酸態Nの含量が酸可溶性全Nに占める割合は、山口大土壤の G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, R<sub>2</sub> 画分ではそれぞれ約 74, 54, 98%, 大分土壤のそれらでは約 83, 112, 99% を示した。

次に、熱乾処理によって無機化が促進された酸可溶性



第 1 図 熱乾処理によって無機化が促進された酸可溶性の全 N, アミノ糖態 N, アミノ酸態 N に対する各土壤画分の寄与率

N に対する各土壤画分の寄与率を、全 N, アミノ糖態およびアミノ酸態 N に分けて算出した結果は第 1 図に示すとおりである。全 N における寄与率は、諫早土壤では G<sub>1</sub> > G<sub>2</sub> > R<sub>2</sub>, 山口大土壤では G<sub>1</sub> > G<sub>2</sub> > R<sub>2</sub>, 大分土壤では G<sub>1</sub> > R<sub>2</sub> > G<sub>2</sub> の順であった。すなわち、いずれの土壤でも G<sub>1</sub> 画分の寄与率が最も高い。そして G<sub>1</sub> と G<sub>2</sub> を合わせると、諫早土壤 83%, 山口大土壤 82%, 大分土壤 61% となり、熱乾処理の影響を受けた有機態 N の大部分がこれらの画分中に含まれていたことがわかる。

アミノ糖態 N については、(G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>) が占める割合は諫早土壤 78.2%, 山口大土壤 96.2%, 大分土壤 94.8% であって、両画分の寄与率は極めて高い。ただ、G<sub>1</sub> と G<sub>2</sub> のうちいずれの寄与率が高いかについては、諫早土壤: G<sub>1</sub> > G<sub>2</sub>, 山口大土壤: G<sub>1</sub> < G<sub>2</sub>, 大分土壤: G<sub>1</sub> ≃ G<sub>2</sub> であって、3 土壤間に一致した傾向はみられなかった。一方アミノ酸態 N については、(G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>) の占める割合は諫早土壤と山口大土壤では、アミノ糖態 N の場合と同様に高く、91.5% および 75.4% であったが、大分土壤では 41.2% とやや低かった。そしてこの場合は、いずれの土壤も G<sub>2</sub> より G<sub>1</sub> の寄与率が高かった。

ATKINSON ら<sup>5,6)</sup>は TYULIN 法<sup>7)</sup>による土壤コロイド画分の分別定量を行ない、コロイド画分の分布と土壤肥沃度との関連を論じた。そのなかで、G<sub>1</sub> 含量は土壤の種類によって異なるが、作物の収量と密接に関係して重要であり、さらに、コロイド画分に存在する蛋白様物質がコロイドと一種の複合体を形成して保持されていると述べている。CHICHESTER<sup>15)</sup>は土壤に超音波処理を施して粒径別に分画し、50°C で乾燥処理したのち湛水状態に保ったときの無機化を調べ、粗大な粒子画分よりも微細な粒子画分の方が無機化率は数倍大きく、かつその大部分は 2 μ 以下の粒子画分に依存するものであることを報告している。

原田<sup>2)</sup>は水田土壤の腐植粘土膠質複合体と易分解性有機物に関する研究で、水田土壤を 0.01 N の希塩酸で洗浄したのち、0.01 N の希アルカリで解膠する有機物を易溶性有機物と呼べば、いわゆる易分解性有機物は TYULIN のいう G<sub>1</sub> と G<sub>2</sub> に存在し、しかも易溶性有機物中に含まれているといえると報告している。さらに彼は、乾土効果に寄与する有機態窒素は主として G<sub>1</sub> に集積していると述べている。

これらの既往の報告を参考にして本実験の結果を考察すると、土壤の乾燥処理によって無機化が促進される易分解性窒素は主として土壤コロイド画分、なかでも G<sub>1</sub> に多く存在している。そして易分解性窒素の主体は微生物体、とくにその細胞壁に大部分が由来すると考えられ

るアミノ糖態とアミノ酸態窒素であり、これらの窒素化合物は土壤のコロイド物質に吸着あるいは結合されて一種の複合体を形成し、微生物分解に対する抵抗性を有して土壤中に残留集積するが、土壤が乾燥-湿潤状態をくり返すと、複合体に何らかの変化を生じて、それらが無機化され易くなるものと思われる。

#### 4. 要 約

熱乾-湿潤処理をくり返し施して易分解性有機物を消耗させた土壤を調製し、連続湿潤の対照土とともに土壤コロイド画分  $G_1$  および  $G_2$  を TYULIN 法に準じて分離した。そして、両処理土壤間のコロイド画分の形態別有機態窒素の差より、土壤コロイド画分中のいわゆる易分解性窒素の組成とその量を求め、それらの乾土効果に対する寄与について考察した。得られた結果の概要は以下のとおりである。

1) 対照土について各種形態の酸可溶性Nのコロイド画分 ( $G_1+G_2$ ) における存在割合をみると、全Nについては諫早土壤 (主要粘土鉱物：モンモリロナイト) 77%、山口大土壤 (同カオリン鉱物) 50%、大分土壤 (同アロフェン) 31% であり、アミノ糖態Nについては、諫早土壤 75%、山口大土壤 70%、大分土壤 60% であった。さらに、アミノ酸態Nについては、諫早土壤 75%、山口大土壤 56%、大分土壤 38% であった。そして、アミノ糖態Nおよびアミノ酸態Nともに諫早と山口大土壤では  $G_2$  より  $G_1$  に多く存在したが、大分土壤では逆に  $G_2$  の方に多く存在していた。

2) 熱乾処理によって無機化が促進された窒素は、いずれの土壤も大部分が酸可溶性N中のアミノ糖態とアミノ酸態Nに由来していた。そしてそれは大部分が土壤コロイド画分に含まれるものであり、なかでも  $G_1$  に最も集積している傾向にあった。すなわち、無機化が促進されたアミノ糖態とアミノ酸態Nは諫早土壤の  $G_1$  で 70.1 と 57.4%、 $G_2$  で 8.1 と 34.1%、( $G_1+G_2$ ) では 78.2 と 91.5%、山口大土壤の  $G_1$  で 29.8 と 66.7%、 $G_2$  で 46.4 と 8.7%、( $G_1+G_2$ ) では 96.2 と 75.4%、大分土壤の  $G_1$  で 47.0 と 31.3%、 $G_2$  で 47.8 と 9.9%、( $G_1+G_2$ ) では 94.8 と 41.2% をそれぞれ示した。

#### 文 献

1) 青峰重範：暗渠排水と乾土効果，河出書房，東京 (1949)

- 2) 原田登五郎：水田土壤の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究，農技研報告，B9，123~199 (1959)
- 3) 林 竜三：土壤の易分解性有機態窒素に関する研究，九州大学農芸化学肥料科学研究室報告，第3号 (1965)
- 4) 塩入松三郎：水田の脱窒現象について，土肥誌，16，104~116 (1942)
- 5) ATKINSON, H. J. and TURNER, R. C. : Soil Colloids. II. Separation by Peptization. *Soil Sci.*, 57, 233~241 (1944)
- 6) ATKINSON, H. J., TURNER, R. C. and LEAHEY, A. : Soil Colloids. III. Relationship to Soil Fertility. *ibid.*, 57, 243~246 (1944)
- 7) TYULIN, A. F. : The Composition and Structure of Soil Organo-Mineral Gels and Soil Fertility. *ibid.*, 45, 343~357 (1938)
- 8) 丸本卓哉：風乾処理による土壤有機態窒素の無機化一とくにアミノ酸態およびアミノ糖態窒素について一，土肥誌，48，391~395 (1977)
- 9) 甲斐秀昭・原田登五郎：Devarda 合金を還元剤とする Conway の微量拡散分析法による硝酸態窒素の定量，九大農芸誌，26，61~66 (1972)
- 10) 石沢修一他：土壤養分分析法，p.171~176，養賢堂，東京 (1970)
- 11) BREMNER, J. M. : Organic Forms of Nitrogen. in Method of Soil Analysis, No.9, Part 2, ed. C. A. BLACK et al., p.1238~1255, American Society of Agronomy, Inc., Publisher, Madison, U. S. A. (1965)
- 12) SILVA, J. A. and BREMNER, J. M. : Determination and Isotope-ratio Analysis of Different Forms of Nitrogen in Soils, (5) Fixed Ammonium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30, 587~594 (1966)
- 13) STEVENSON, F. J. : Investigation of Aminopolysaccharides in Soils. I. Colorimetric Determination of Hexosamines in Soil Hydrolysates. *Soil Sci.*, 83, 113~122 (1957)
- 14) STEVENSON, F. J. : Investigation of Aminopolysaccharides in Soils. II. Distribution of Hexosamines in Some Soil Profiles. *ibid.*, 84, 99~106 (1957)
- 15) STEVENSON, F. J. and BRAIDS, O. C. : Variation in the Relative Distribution of Amino Sugars with Depth in Some Soil Profiles. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32, 598~600 (1968)
- 16) 丸本卓哉・古川謙介・吉田 堯・甲斐秀昭・山田芳雄・原田登五郎：土壤の易分解性有機物に対する微生物体およびその細胞壁の寄与について (第1報)，ライグラスの分解に伴う土壤有機態窒素のアミノ酸およびアミノ糖化合物の動向，土肥誌，45，23~28 (1974)
- 17) 丸本卓哉・甲斐秀昭・吉田 堯・原田登五郎：土壤の易分解性有機物に対する微生物体およびその細胞壁の寄与について (第4報)，微生物体およびその細胞壁物質の超音波処理および熱乾処理によって無機化が促進される有機態窒素の化学的組成，土肥誌，45，395~402 (1974)
- 18) CHICHESTER, F. W. : Nitrogen in Soil Organo-Mineral Sedimentation Fractions. *Soil Sci.*, 107, 356~363 (1969)