
 日本土壤肥料学会賞受賞

土壤微生物バイオマス窒素の動態に関する研究

丸本卓哉*

1. はじめに

土壤の微生物バイオマス量は、一般に土壤全炭素量の1~3%を占め、微生物数は土壤1g当たり $10^7 \sim 10^9$ いるとされている。そのうち糸状菌と細菌の占める割合は、畑地、草地、樹園地では70%位が糸状菌であるが、水田では逆に80~98%を細菌が占めている。土壤中の微生物は、土壤に加えられた有機物の分解に大きな役割を果たしている一方、その分解過程で無機化される栄養素を摂取して、菌体の維持や増殖を行っている。有機物の分解過程で菌体成分として使用されなかった余分の養分は、土壤中に放出されて植物に利用されたり、土壤に吸着保持されたり、溶脱されたりする。難分解性の植物残渣はさらにゆっくりと分解されながら腐植物質へと変化していく。このような永年にわたる土壤中での物質変化の過程を通して土壤中に集積された有機物は、土壤の潜在的作物生産力、つまり地力のひとつの指標となっている。

土壤の乾燥-湿潤処理、団粒粉碎処理、土壤反応変換処理などによって、その土壤中での分解が促進され、作物養分として有効化するいわゆる地力の給源である有機物画分を原田(1959)は、「土壤の易分解性有機物」と称した。この易分解性有機物中の窒素画分を易分解性有機態窒素と呼んでいるが、まず1)この本質とその土壤中での存在形態や集積および無機化機構との関係について研究を進め、土壤中の微生物菌体および菌体細胞壁物質がその主要な供給源であることを明らかにした。2)続いて土壤中の微生物バイオマス窒素の畑および水田における動態について解析し、各種環境条件の変化に伴うバイオマス窒素の無機化量とその機構を明らかにした。また、3)生物根圏のバイオマス窒素の動態研究にリゾボックスを考案してその解明を行い、バイオマス窒素の代謝回転速度や時間についての新しい知見を示すととも、4)それらに対する施用有機物や化学肥料の影響につ

いて解析し、土壤中の養分循環と微生物バイオマスの重要性を明らかにした。

2. 土壤の易分解性有機態窒素の本質

1970年から1978年にかけての研究において、植物遺体の分解過程で土壤中に集積されるアミノ酸組成およびアミノ糖化合物の動向より^{1,2,5,6,9)}、土壤中の易分解性有機物の給源が微生物菌体由来であることを明らかにした^{3,4,7,8)}。すなわち地方窒素の集積は、有機物の分解過程で形成された微生物菌体およびその細胞壁物質が土壤中の有機・無機コロイドと結合して分解に対する抵抗性を有して生じることが¹¹⁻¹³⁾、土壤の乾燥-湿潤や団粒粉碎などの土壤環境の変化によってその分解が促進され、地方窒素が無機化されることを明らかにした^{10,11)}。

3. 微生物バイオマス窒素の動態

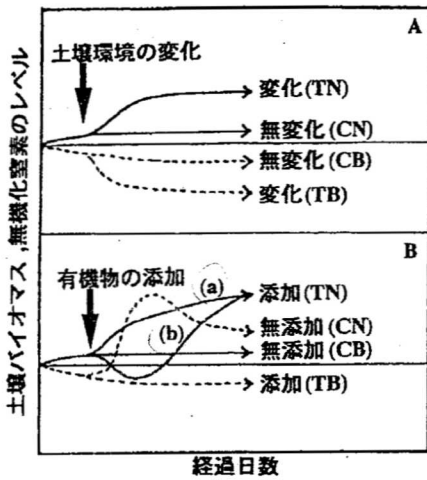
1979年から1982年にかけての研究において、西ドイツ、ブラウンシュバイクの生物学研究所にて新たに開発された基質誘導呼吸法を用い、¹⁴Cや¹⁵Nでラベルした微生物菌体の乾土効果に由来する無機化と再有機化について実験を行い、畑土壤の乾土効果に対する微生物バイオマス由来の窒素量はヘクタール当たり約40kgに相当し、バイオマス窒素の貢献度は約75%と極めて高いことを明らかにした¹⁵⁻¹⁷⁾。さらに、英国ロザムステッドにて開発されたクロロホルム燻蒸法を用いて、微生物バイオマスに集積された各種養分の無機化と土壤環境要因の変化との関係について研究を進め、団粒粉碎、乾燥-湿潤¹⁸⁾、pH変換²⁴⁾などによって無機化が促進されるバイオマス窒素量とその貢献度について解析し、それらは作物一作中に吸収される土壤窒素量に匹敵することを明らかにした^{22,24,29,30)} (第1図)。

4. 微生物バイオマス窒素の代謝回転

1985年から1992年にかけての研究では、バイオマス窒素の代謝回転速度や時間を、¹⁵Nでラベルしたバイオマス窒素を用いて解析した。その畑土壤での代謝回転時間は約170日であるが、これに化学肥料や有機物を施用するとその代謝回転時間は速くなり、約80~90日になることが示された。つまり、バイオマス窒素の代謝回転

* まるもとたくや：1972年九州大学大学院農学研究科博士課程修了。

現在、山口大学農学部(753 山口市吉田 1677-1)



第1図 土壤バイオマスの短期的変動(---▶)とそれに伴う無機化窒素量の変化(→)
(CN:無変化,無添加の無機態窒素量, CB:無変化,無添加の土壤バイオマス量, TN:変化,添加の無機態窒素量, TB:変化,添加の土壤バイオマス量, (a)C/N<20, (b)C/N>20)

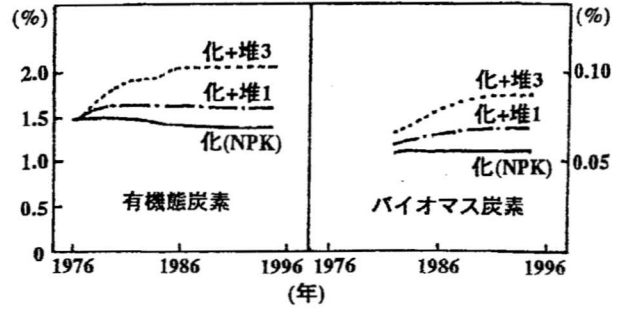
第1表 畑作物栽培期間(120~480日)における根圏,根域,非根圏のバイオマス¹⁵Nの半減期($t_{1/2}$)と代謝回転時間(T)

土壤	区分	根からの距離(mm)	半減期(日)	代謝回転時間(日)
山口大学	根圏	0~5	93.9	135.5
	根域	5~15	96.8	139.6
	非根圏	—	169.9	245.1
千石台	根圏	0~5	95.1	137.1
	根域	5~15	104.8	151.2
	非根圏	—	130.3	187.9

時間は,施用された有機態炭素の微生物に対する有効性に大きく左右されることを明らかにした¹⁴⁾。さらに,従来困難であった根圏土壤の採取を容易に行えるリゾボックスを作成し,根圏および非根圏でのバイオマス窒素の代謝回転時間を求めたところ,非根圏より根圏の代謝回転時間が45%程速いことを明らかにした^{25,31)}。また,根圏でのバイオマス窒素の動態に及ぼす施用有機物の影響についても検討し²³⁾,その質と施用量がバイオマス窒素の代謝回転時間と作物に対するその有効化に大きく影響することを明らかにした(第1表)。

5. 水田および畑におけるバイオマス窒素のフロー

水田土壤でのバイオマス窒素現存量はヘクタール当たり約40~160kgの範囲にあり,その水稻に吸収された窒素は40~100kgに相当する^{18,19,40)}。畑では約20~100kgのバイオマス窒素が現存しているが,そのうち8~40kgが畑作物に吸収されることを示し,現存バイオマス窒素量の約40%以上が作物に有効化することを明



第2図 土壤の有機態炭素含量およびバイオマス炭素量に及ぼす肥培管理の影響(山口県農試圃場)

第2表 畑および水田土壤(全炭素:2~3%,全窒素:0.2~0.3%)から乾土効果によって2~4週間(25°C)に有効化する微生物バイオマス由来の窒素

土壤	乾燥処理	バイオマス由来の窒素	
		N kg ha ⁻¹	全有効化量に対する割合(%)
畑	風乾(1週間)-湿潤	15~20	45~50
	熱乾(70°C)-湿潤	30~40	70~75
水田	風乾(1週間)-湛水	30~40	40~45
	熱乾(110°C)-湛水	45~50	50~65
	熱乾(70°C)-湿潤	47~50	60~65

らかにした^{16,30,33,34)}。そして,有機物や化学肥料の適用に伴う作物生産やバイオマス量の変動を短期的,長期的に各種条件下で解析し^{36,37,39)},地力維持と増進におけるバイオマス養分の意義を明らかにするとともに^{26,28,35,38)},生体系調和型,持続的農業技術の基本的考え方を提案した^{33,34,38)}(第2図,第2表)。

6. おわりに

近年,地球環境の保全を目的とした生態系調和型の持続型農業技術の確立に関する研究や議論が世界中で盛んである。日本でも,農林水産省を中心に持続的農業技術の確立に精力的に取り組んでいる状況である。こんな状況にあって安全で永続的な農作物の多収技術と環境保全の確立に対して,これといった特効薬的な方策はないと思われる。古くからいわれているように,地力で不足しているものを肥料や土壤管理技術で補うという原点に立ち返ることが重要である。地力増進と維持にはそれなりの労力と努力が必要であるが,これを怠れば日本農業の将来はないといっても過言ではあるまい。

本論文で述べてきたように,バイオマスレベルの維持と増進,またそこに貯えられた養分の有効利用は,適切な肥培管理技術として重要であり,生態系調和型で持続的農業技術の確立にとって最も早道であるといえよう。バイオマス窒素のフローを制御する技術の確立は近い将

来可能であると考えられる。しかしながら、バイオマスの形成量や窒素フローに影響する要因が、地域や土壤の種類によって大きく異なるために、それぞれの地域でのきめ細かな基本的データの集積と解析が必要とされる。現在、各県の農業試験場、農水省の地域試験場やつくば農林団地において多くの有意義な試験や解析が行われており、その成果を期待したい。

謝辞 本研究は九州大学農学部、山口大学農学部、農林水産省草地試験場、西ドイツ、ブラウンシュバイクの生物学研究所において行われたものである。関係者および共同研究者の各位に謹んで感謝の意を表す。故原田登五郎教授には研究に対する心構えを、山田芳雄、甲斐秀昭両九州大学名誉教授、吉田堯元農林水産省四国農試場長には研究の楽しさと厳しさを、古坂澄石、服部勉両東北大学名誉教授および西尾道徳農業環境技術研究所環境研究官には土壤微生物研究の難しさと情熱について、それぞれ心暖まる励ましとご指導を賜わった。また、松口龍彦九州大学教授には本学会賞のご推薦をいただいた。記して心より感謝の意を表す。

おもな業績

- 1) MARUMOTO, T., FURUKAWA, K., YOSHIDA, T., KAI, H. and HARADA, T.: Effect of the application of rye-grass on the contents of individual amino acids and amino sugars contained in the organic nitrogen in soil. *J. Fac. Agric., Kyushu Univ.*, **17**, 37~47 (1972)
- 2) 丸本卓哉・吉田 堯・甲斐秀昭・原田登五郎：土壤の易分解性有機物に対する微生物体及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及びアミノ糖化合物の動向, 土肥誌, **45**, 23~28 (1974)
- 3) 丸本卓哉・吉田 堯・甲斐秀昭・原田登五郎：土壤の易分解性有機物に対する微生物体及びその細胞壁の寄与について、(第2報)易分解性有機物の集積と微生物の関係, 同上, **45**, 239~246 (1974)
- 4) 丸本卓哉・吉田 堯・甲斐秀昭・原田登五郎：土壤の易分解性有機物に対する微生物体及びその細胞壁の寄与について、(第3報)土壤中における微生物体及びその細胞壁物質の無機化に及ぼす乾燥処理の効果と易分解性有機物に対する細胞壁物質の寄与, 同上, **45**, 332~340 (1974)
- 5) 丸本卓哉・吉田 堯・甲斐秀昭・原田登五郎：土壤の易分解性有機物に対する微生物体及びその細胞壁の寄与について、(第4報)微生物体及びその細胞壁物質の超音波処理及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, 同上, **45**, 395~402 (1974)
- 6) 甲斐秀昭・河口定生・丸本卓也：D-アミノ酸の土壤中分布とその土壤窒素代謝における意義, 土と微生物, **18**, 27~41 (1976)
- 7) MARUMOTO, T., KAI, H., YOSHIDA, T. and HARADA, T.: Relationship between an accumulation of soil organic matter becoming decomposable due to drying of soil and microbial cells. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **23**, 1~8

- (1977)
- 8) MARUMOTO, T., KAI, H., YOSHIDA, T. and HARADA, T.: Drying effect on mineralization of microbial cells and their cell walls in soil and contribution of microbial cell walls as a source of decomposable soil organic matter due to drying. *ibid.*, **23**, 9~19 (1977)
- 9) MARUMOTO, T., KAI, H., YOSHIDA, T. and HARADA, T.: Chemical fractions of organic nitrogen in acid hydrolysates given from microbial cells and their cell wall substances and characterization of decomposable soil organic nitrogen due to drying. *ibid.*, **23**, 125~134 (1977)
- 10) 丸本卓哉：風乾処理による土壤有機態窒素の無機化—とくにアミノ酸態及びアミノ糖態窒素について—, 土肥誌, **48**, 391~395 (1977)
- 11) MARUMOTO, T. and HIGASHI, T.: Characterization of readily decomposable organic matter in soil, Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture (SEFMIA), p.303~314, The Society of the Science of Soil and Manure, Japan (1977)
- 12) 丸本卓哉・進藤晴夫・東 俊雄：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, 土肥誌, **49**, 111~115 (1978)
- 13) 丸本卓哉・甲斐秀昭：タンパク質, コロイド複合体の無機化に及ぼす乾燥の影響, 同上, **49**, 372~377 (1978)
- 14) MARUMOTO, T., SHINDO, H. and HIGASHI, T.: Effect of carbonaceous materials on the accumulation of readily mineralizable organic nitrogen in soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **26**, 185~190 (1980)
- 15) MARUMOTO, T., ANDERSON, J. P. E. and DOMSCH, K. H.: Decomposition of ¹⁴C- and ¹⁵N-labelled microbial cells in soil. *Soil Biol. Biochem.*, **14**, 461~467 (1982)
- 16) MARUMOTO, T., ANDERSON, J. P. E. and DOMSCH, K. H.: Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. *ibid.*, **14**, 469~475 (1982)
- 17) 丸本卓哉：土壤のバイオマス—畑土壤の養分と微生物バイオマスの章, 日本土壤肥料学会編, p.115~140, 博友社, 東京 (1983)
- 18) MARUMOTO, T.: Mineralization of C and N from microbial biomass in paddy soil, Biological processes and soil fertility, p.165~173, Martinus Nijhoff/Dr. W. JUNK Publishers, Boston (1984)
- 19) MARUMOTO, T.: Mineralization of C and N from microbial biomass in paddy soil. *Plant Soil*, **76**, 165~173 (1984)
- 20) 丸本卓哉：土壤の微生物バイオマス, 化学と生物, **22**, 824~826 (1984)
- 21) 丸本卓哉：土壤標準分析測定法—微生物バイオマスの章, 日本土壤肥料学会監修, p.293~311, 博友社, 東京 (1984)
- 22) 丸本卓哉：土壤生物活性と養分供給—土壤バイオマスによる養分吸収の章, 農業技術体系土壌肥編, p.123~133, 農山漁村文化協会, 東京 (1987)
- 23) 丸本卓哉：根圏環境と作物生育—微生物バイオマスによる窒素の代謝—野菜の栄養診断手法と土壌管理に関する諸問題, 農林水産省中国農業試験場編, p.48~54, 福山 (1989)
- 24) 丸本卓哉・岡野正豪・西尾道徳：火山灰草地土壤の微生物バ

- イオマス窒素の無機化に及ぼす石灰施用の影響, 土と微生物, **35**, 5~10 (1990)
- 25) MARUMOTO, T.: Turnover of microbial nitrogen in rhizosphere soil of upland crops. 14th ICSS Transaction, Vol. III, p.45~54, Kyoto (1990)
- 26) 丸本卓哉: 物質循環における土壌微生物の役割と土壌の健全性, 研究ジャーナル, **14**, 30~36 (1991)
- 27) HAIDER, J., MARUMOTO, T. and AZAD, A. K.: Estimation of microbial biomass-C and N in Bangladesh soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **37**, 591~599 (1991)
- 28) 丸本卓哉: 持続的農業を目指した土づくり環境にやさしい農業のために-, 畑土壌の養分循環と微生物バイオマスの章, 日本土壤肥料協会編, p.23~31, 東京 (1991)
- 29) 丸本卓哉: 作物根圏のバイオマス窒素循環, IGEシリーズ, 東北大学遺伝生態研究センター編, **13**, p.59~68, 笹気出版, 仙台 (1991)
- 30) 丸本卓哉: 畑土壌の養分循環と微生物バイオマス, 圃場と土壌, 日本土壤肥料協会編, **268**, p.30~38 (1991)
- 31) 丸本卓哉: 根圏土壌の微生物バイオマス測定における根圏土壌採取器(リゾボックス)の利用, 土肥誌, **63**, 602~604 (1992)
- 32) 丸本卓哉・早川誠而・江崎次夫・山本一夫・岡部宏秋: 被覆資材の土壌侵食防止・緑化効果と実施例, 徐 森雄他編, 中日水土保持敷蓋資材応用研究会論文集, p.49~61, 国立屏東技術学院, 台湾 (1993)
- 33) 丸本卓哉: 畑土壌における微生物バイオマスとその機能, 平成5年度近畿中国農業問題別研究会, 農林水産省中国農業試験場編, p.1~17, 福山 (1993)
- 34) 丸本卓哉: 土壌生化学-微生物バイオマスの章, p.34~51, 朝倉書店, 東京 (1994)
- 35) LIU, S. and MARUMOTO, T.: Determination of biomass carbon by fumigation direct extraction method. *Soils*, 中国科学院編, **26**, p.220~222, 南京 (1994)
- 36) AZMAL, A. K. M., MARUMOTO, T., SHINDO, H. and NISHIYAMA, M.: Mineralization and microbial biomass formation in upland soil amended with some tropical plant residues at different temperatures. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **42**, 463~473 (1996)
- 37) AZMAL, A. K. M., MARUMOTO, T., SHINDO, H. and NISHIYAMA, M.: Mineralization and changes in microbial biomass in water saturated soil amended with some tropical plant residues. *ibid.*, **42**, 483~492 (1996)
- 38) 丸本卓哉: 総説-土壌バイオマス形成と窒素フロー, 土肥誌, **67**, 446~452 (1996)
- 39) AZMAL, A. K. M., MARUMOTO, T., SHINDO, H. and NISHIYAMA, M.: Changes in microbial biomass after continuous application of azolla and rice straw in soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* (in press) (1997)
- 40) 丸本卓哉・安藤 豊・和田源七: 水田土壌の風乾処理とバイオマス窒素の無機化, 土肥誌 (印刷中) (1997)