

畜産環境保全と微生物

草地試験場生態部土壌微生物研究室長 齋藤雅典

1. はじめに

環境問題は、地域レベルから地球レベルまで、益々重要な問題になりつつある。21世紀では環境と調和しない産業は成立しないであろう。それは、畜産業においても同じである。家畜ふん尿に起因する環境問題を解決し、資源循環型の畜産システムを構築しない限り、わが国における畜産業は生き残っていけない¹⁾。このことは、本誌の読者であれば、すでによく承知のことと思う。

さて、こうした環境保全型の畜産システムを構築して行く上で、微生物がきわめて重要な役割を果たしている。飼養管理から始まってふん尿の処理、堆肥化、圃場還元、飼料作物栽培という畜産における循環システムを考えると、いずれのステップにおいても、微生物が重要な役割を果たしている。すなわち、飼料のサイレージ化における乳酸菌、反芻家畜におけるルーメン微生物、消化管内微生物相制御のためのプロバイオティクス微生物、ふん尿を腐熟・堆肥化する微生物、汚水浄化のための微生物処理、圃場へ還元された堆肥・ふん尿を分解する土壌微生物、等々である。このように、ざっと見ていくだけでも、まさに微生物が畜産の縁の下の力持ちとして働いていることがよく分かる(図1)。そこで本稿では、家畜ふん尿の処理における微生物の役割とその利用について考えてみる。

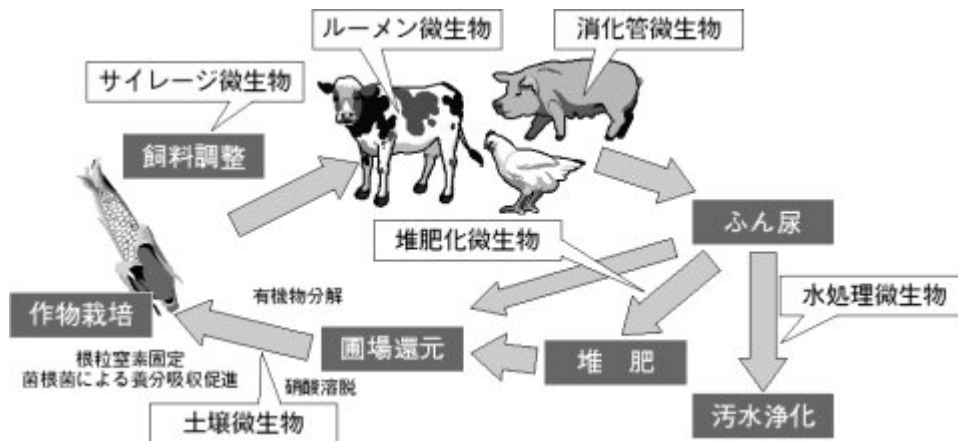


図1 畜産を支える微生物

2. 堆肥化と微生物

家畜ふん尿の堆肥化は、多種多様な微生物による共同作業である。排出されたばかりのふん中の微生物の多くは、家畜の腸内で活動していたものである。しかし、ふんとして体外へ排出されると、それらの多くの微生物は環境に適応できずに死んでしまう。ふん尿を堆肥化するために積み込むと、家畜の体外でも生きていける種類が、死んだ微生物の体やふんの中の未消化物を分解する。その時に、適当な水分と空気があれば、微生物の活動が活発になって熱が発生し、積み上げたふん尿の温度が50~70℃まで上昇する。しかし、水分が過剰であると、酸素不足(嫌気的狀態)となり、分解速度は遅くなり、温度は上がらず、悪臭成分が発生する。通気が十分な条件で温度が上昇すれば、それまで活動していた中温性(20~30℃)の微生物に代わって、新たに好熱性(50~60℃くらいの高い温度の好きな)微生物が活躍する。セルロースなどの繊維質成分は主にこうした好熱性微生物によって分解される。好熱性微生物が餌とする成分が分解しつくされると、堆肥の温度が低下し、残りの成分を分解するような別の微生物(たとえば、キノコのような菌類)が増殖し、堆肥は完熟の段階となる。この段階になると、堆肥の中にミミズなどの土壌動物も現れてくる(図2)。

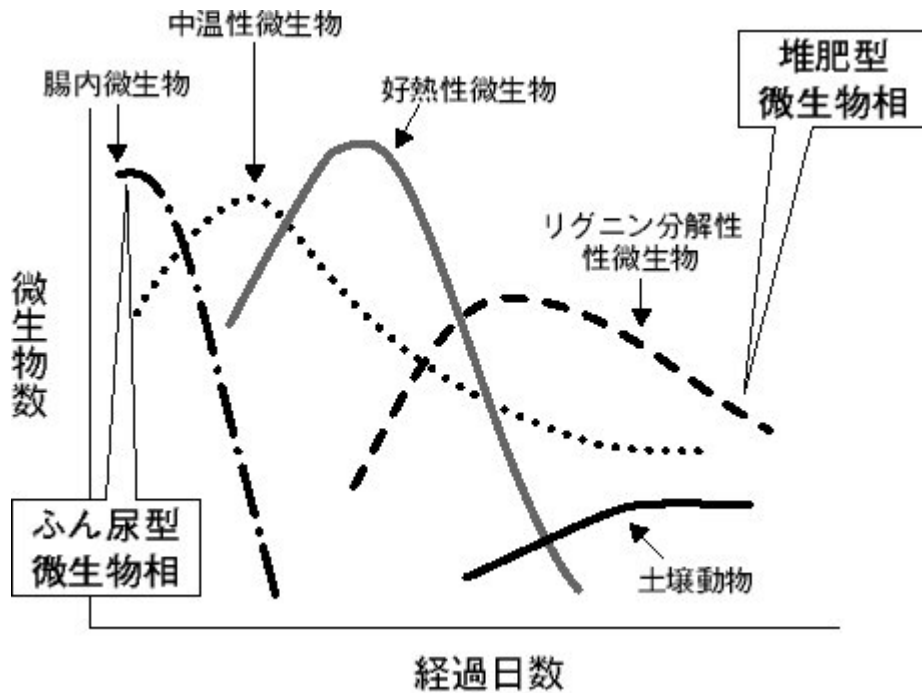


図2 堆肥化過程における微生物相の遷移(模式図)

こうした堆肥化の過程における微生物相の経時的変化を遷移と呼んでいるが、異なる微生物が交互に作用することによって、ふん尿中の有機物を順次分解し、腐植質に富む堆肥へと変換する。けっして1種類や2種類の微生物が、ふん尿という複雑な有機成分を分解するわけではない。こうした堆肥化に関与する微生物相について、これまで多くの研究が行われてきているが^{2,3}、それらのほとんどは微生物を培養法で分離し、その種類や性質を調べたものである。しかし、顕微鏡で調べてみると、培養法で検出できる微生物の何10倍～何100倍もの微生物が堆肥化の過程で働いていることが分かる(図3)。

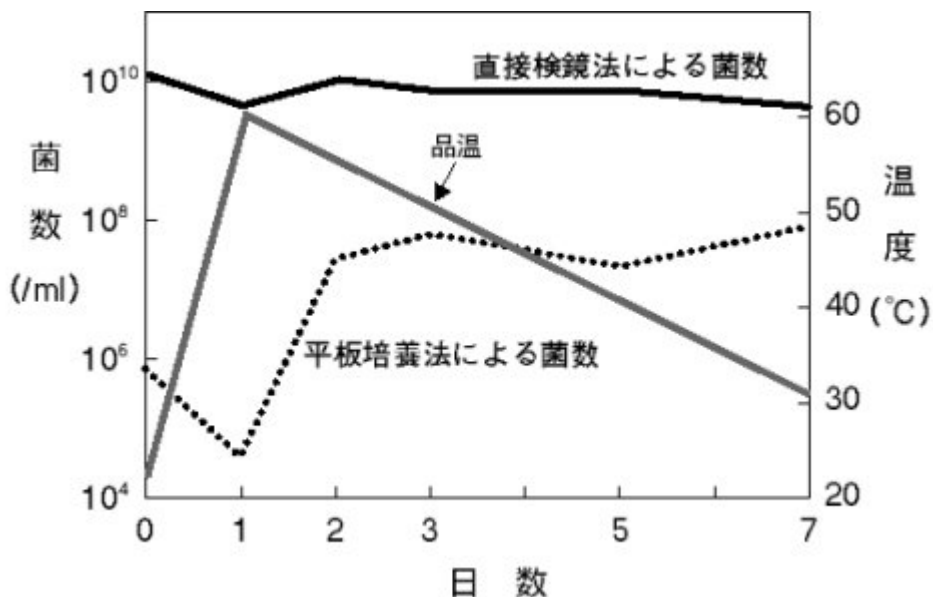


図3 培養法と顕微鏡で観察した細菌数の違い。
牛スラリーを曝気処理した場合のデータであるが、堆肥においても同様。培養法によるデータは実際に活動している微生物のごく一部しか反映していない。
(草地試土微生物研成績)

こうした微生物は、「培養困難微生物」と言われ、これまで顕微鏡で観察する以外に研究の方法がなかった。しかし、分子生物学的手法の発達によって、堆肥から「培養困難微生物」のDNAを抽出し、調べることが可能になりつつある⁴。そ

うは言うものの、こうした研究はまだ始まったばかりである。工業排水の処理については、こうした研究が最近急速に進んでいるが、家畜ふん尿の堆肥化や汚水浄化を対象にした研究はまだほとんど進んでいない。いずれにしろ、家畜ふん尿の堆肥化の過程で、一体どんな微生物が活動しているのか、我々はまだほとんど知らないと言った方がよいだろう。

3.微生物資材を考える

ふん尿処理の際に悪臭防止、腐熟促進などの効果があると称した多数の微生物資材が市販されている。その数は、100種類以上とも言われている(5,6)。微生物資材と銘うっているが、資材の担体として米糠、無機資材など用いられており、各種の有機資材を混合しただけのような資材もある。また、中身の微生物については、乳酸菌、放射菌と漠然としたものが多く、何々菌と名前が付いていることはあっても、それらのほとんどは学問的には認められた名称ではない。

ふん尿処理にとって悪臭対策は、きわめて重要である。そのため、こうした資材を使う農家も少なくない。本当にこうした資材に効果があるのか、研究機関で評価法を確立するよう現場からの要望は強い。現在のところ、悪臭防止についての評価法が確立しているとは言い難いが、公立研究機関を中心にこれまで調査された範囲では、私の知る限り、確実に効果の出ることの確認された資材はない。多くの場合、効果が認められないか、効果の出た場合も、ある試験場のみといった状況である。土壌肥料学会では、作物栽培に利用される微生物資材について、その効果判定法のガイドラインを発表しているが(6,7)、ふん尿処理用の微生物資材について、このガイドラインに基づいて行われた試験報告はまだないようである。

農水省では、平成6年度より環境保全的な家畜排せつ物処理に関する総合的な研究プロジェクトを行っている。私どもも、本プロジェクトに参加し、悪臭分解微生物に関する研究を行ってきた。これまでに、多くの悪臭分解微生物が分離され、その性質などが明らかになっている(8,9)。しかし、最大の問題は、目的の微生物を、ふん尿にいかに接種し、定着させ、効果を発揮させるかである。ふん尿中にはすでに多種多様のそして多量の微生物が存在している。このような環境に対して、外からわざわざばかりの悪臭分解菌を接種しても、接種菌が効果を発揮できる可能性はきわめて低い(図4)。

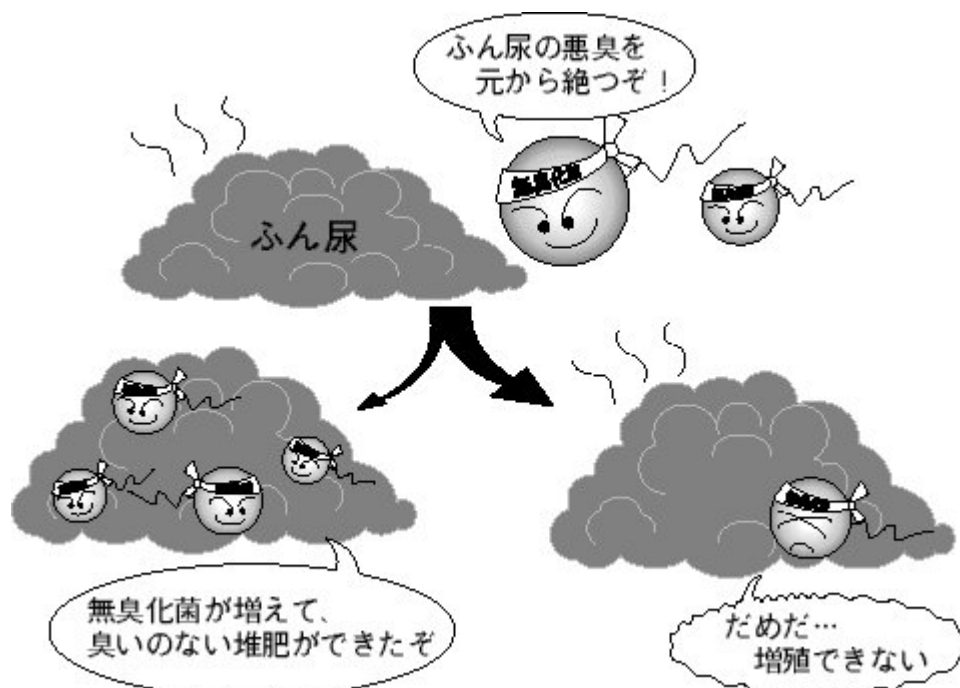


図4 実験室で選抜された「悪臭分解菌(無臭化菌)」が現場で効くとは限らない。

実際、あまりよい結果は出ていない。この分野ではもっとも研究実績のある広島大学の太田教授も、「悪臭分解菌の実際の利用場面では目的の菌をいかに環境に馴化させるかが難しい」と述べている(私信)。現状では、通気・適正水分などの堆肥化の基本を守った堆肥づくりが、悪臭防止のためにももっとも重要であろう。さらに完熟した良質堆肥を「戻し堆肥」として、生ふん尿に対して10~20%混ぜれば、これは種菌として腐熟促進効果を示す。

実際、完熟堆肥の中には、悪臭分解微生物が多数存在している。完熟堆肥を牛舎の通路に散

布することによって、畜舎内の悪臭濃度は低下する。完熟堆肥を敷料として再利用する技術が普及しつつあるが¹⁰、この技術は悪臭防止にも有効であると考えられる。

4.ふん尿・堆肥の土壌還元:土壌微生物の役割

ふん尿は、そのまま捨てるのであれば、ゴミであり、環境汚染の原因ともなるものだが、その中に含まれている窒素・リンなどの各種養分は、ふん尿やその堆肥を農耕地へ還元することによって、飼料作物などの生産へ利用することができる。圃場へ還元された堆肥は、そのまま作物の養分源となるわけではない。土壌微生物の作用で堆肥が分解され、無機態の養分となって放出されることによってはじめて、作物が吸収利用できる。

しかしながら、こうしたふん尿や堆肥の分解に関与する土壌微生物のことも、やはり、まだよく分かっていない。先に述べたように、土壌中の微生物の大半も「培養困難微生物」なのである⁴。分子生物学的手法によって、その正体が明らかにされつつあるが、全貌が明らかになるには、まだ、大分時間がかかるであろう。

これまで分かっていたつもりでも、研究の進歩によって、常識の覆されることはしばしばある。アンモニアから硝酸へと酸化する作用は、アンモニア酸化菌と亜硝酸酸化菌という2群の微生物によるものである。土壌中での硝酸化成を律速しているのはアンモニア酸化菌であるが、これまで、アンモニア酸化菌は、非常に有機物に弱いと考えられていた。つまり、培地の有機物濃度がちょっと上がると死んでしまう。しかし、家畜ふん尿を多量に施用した土壌中には、ふん尿由来の有機物が多量に存在しても平気でアンモニア酸化を行う菌が生息していることが分かってきた。この菌のアンモニア酸化能は、ふん尿成分によって活発化することが見出され、これまで知られている菌とは随分と性質が違うようである。

土壌の微生物そのものについては分からないところだらけであるが、土壌中での堆肥やふん尿の分解過程を、微生物活動の指標として化学的手法で解析する研究は、かなり進んできている。温度や水分条件が、堆肥やふん尿の土壌中での分解速度(堆肥からの窒素放出量)に及ぼす影響を調べ、それに基づいて、圃場へ還元した堆肥がどのくらいの速度で窒素を放出するかを予測することができる¹¹。こうしたデータに基づいて、適正な堆肥やふん尿の土壌還元量を求めることができる。堆肥やふん尿の分解は、温度の影響を大きく受けるので、ふん尿などの適正土壌還元量は寒地と暖地では当然異なってくる(図5)。

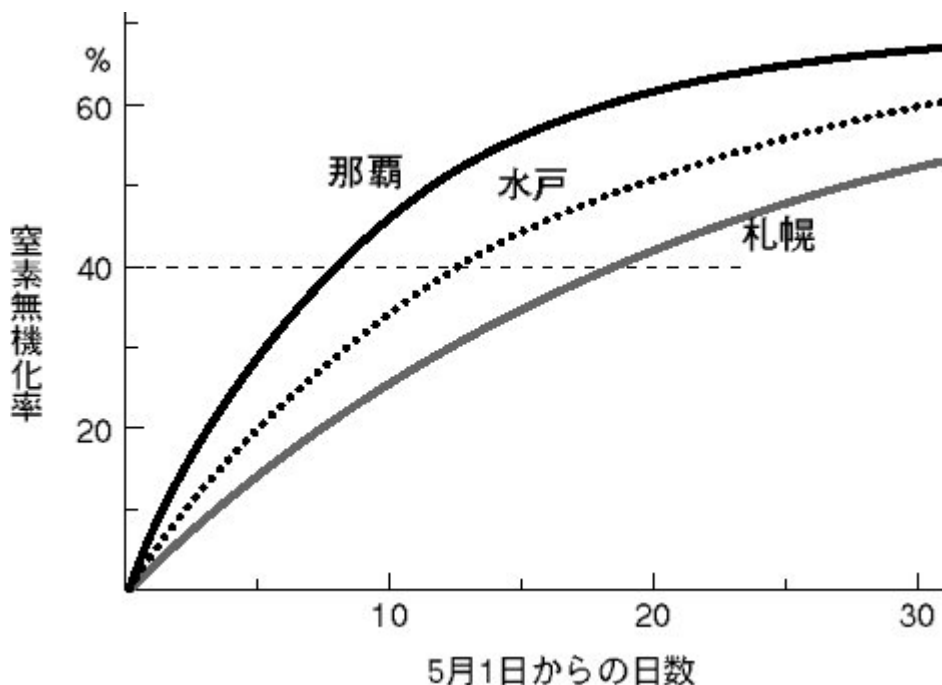


図5 下水汚泥コンポストからの窒素の無機化は地域によって異なる。実験的に求めた無機化パラメータを用い、5月1日施用を想定し、各都市の平均地温を用いて推定した¹¹。家畜ふん堆肥の施用についても、同じ方法が適用できる。

ふん尿や堆肥中の肥料成分が、100%作物に吸収利用されるのであれば、環境に対する負荷はゼロである。しかしながら実際には、作物が吸収する以上の多量のふん尿が圃場へ還元され、

作物によって吸収されなかった養分の大部分が降水によって地下へ浸透・溶脱し、地下水汚染の原因となっている。作物は、その生育とともに土壌から少しずつ養分を吸収する。けっして一度に多量の養分を吸収するわけではない。作物の生育に応じて肥料成分を供給することが出来れば、肥料成分の溶脱による最小限に押さえることができる。そのために、化学肥料の溶出パターンを制御する種々のコーティング肥料など溶出制御型肥料が開発され、利用されている。

家畜ふん尿を流通させ、耕種農家に利用してもらうためには、こうした肥効制御という発想も必要になってくる。家畜ふん尿のペレット化に関する研究が進んでいるが、これは本来、ふん尿堆肥の流通をよくするために主にハンドリング性の向上の面から研究が進められてきたものである。しかし最近ではさらに進んで、種々の家畜ふんをペレット化し、その土壌中での窒素無機化パターンを調べ、それに基づいて、各種ふん尿を混合してペレット化することによって肥効の制御を行う方法が開発されつつある(図6)。こうした方法によって肥効制御型のふん尿ペレットや堆肥が製造されるようになれば、ふん尿や堆肥の流通に寄与するところは大きいであろう。

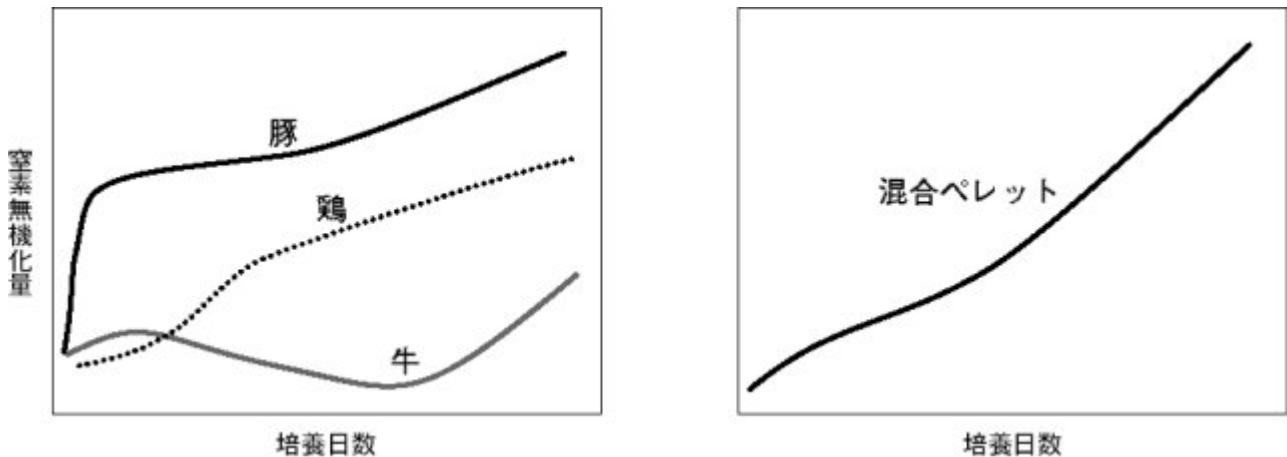


図6 家畜ふん混合ペレットによる肥効調節。牛、豚、鶏ふんのペレット(左)と、各種のふんを一定の割合で混合したペレット(右)を、土壌へ施用した場合の窒素無機化パターン(模式図)。(草地試作物栄養研成績より改写)

5.高付加価値堆肥・堆肥の他用途利用と微生物

わが国の畜産から排出されるふん尿すべてを、仮に、わが国の農耕地すべてに還元するとしても、その量はすでに適正量を越えつつある¹²⁾。畜産の地域的な偏在を考えれば、問題は深刻であり、ふん尿堆肥の流通をさらに進めるだけでなく、さらに、付加価値を付けた商品の開発、また、農業以外の分野での利用も積極的に開拓しなければならない。

古くから完熟堆肥の施用によって土壌病害の発生が抑止される現象が見出されているが、これは堆肥中に病原菌に対する拮抗菌が含まれているためと考えられている。そこで、土壌病原菌に対する拮抗菌を家畜ふん堆肥の中で増殖させ、病原菌拮抗能を付加した家畜ふん堆肥を製造する研究が、民間企業を中心に進められている。実用化の日も遠くないと思われる。

非農業分野では、道路工事に伴う法面等の緑化関係での利用が進んでいる。いくつかの堆肥センターでは、生産された堆肥の大部分がこのような土木関係の目的で利用されているという(しかし、バブル経済以後の厳しい経済状況の中で、こうした利用は低迷しているらしい)。米国環境保護局(Environmental Protection Agency)では、コンポストの多目的利用方法を公開している(<http://www.epa.gov/epaoswer/nonhw/compost/index.htm>)。ここで言うコンポストは、必ずしも家畜ふん尿由来のものばかりではないが、わが国における家畜ふん堆肥の多目的利用を考える上で有益な示唆が得られる。たとえば、バイオレメディエーション(環境修復)資材としての利用がある。堆肥には通常の土壌よりも活性の高い多様な微生物が高密度に存在しており、また、腐植物質にも富み汚染物質の吸着能も高い。このような性質を利用して、石油関連の廃棄物である炭化水素化合物や多環性芳香族炭化水素類あるいは農薬類で汚染した土壌と、堆肥を混合し分解浄化するというものである。わが国の民間企業も、湾岸戦争時に原油によって汚染されたクウェートの土壌修復に、多量の堆肥等有機資材を利用する方法を開発し実証している。

6.畜産環境保全に微生物の機能を活用するために

微生物はきわめて多様であり、驚くような機能を有している菌も少なくない。しかし、そのような機

能が、実験室内の純粋な系で見つかったからと言って、その菌を環境中へ導入し、その機能を発揮させようと思っても、それは容易なことではない。たとえば、マメ科作物に窒素固定能の高い根粒菌を接種して、より高い収量を得ようという研究が古くから行われてきている。しかし、接種菌はどうしても土壤中に元来存在する土着の根粒菌との競合に勝てない。つまり、多様な微生物の生息する環境へ、特定の菌を接種し、その機能を発現させるという技術を、我々はまだ持っていないのである。家畜ふん尿処理における悪臭分解菌についても然りである。現場での問題解決のためには、当面、種々の環境制御(通気、水分調整等)を行うことによって、家畜ふん尿中あるいは堆肥中の目的の微生物集団の機能を効果的に発揮させる技術の開発が重要であろう。そしてその一方で、画期的な環境保全技術を創出するために、堆肥化過程あるいは土壤中で実際に活動している「培養困難」微生物などに関する基礎的研究の推進が必要である。こうした基礎的な研究の蓄積なしに、目的の微生物を環境中で人間の思うように機能させることはできない。

参 考 文 献

- 1) 羽賀清典(1998)循環型社会に向けた畜産環境保全、畜産環境情報2:2-8.
- 2) 扇元啓司(1997)コンポストの微生物学(1)(2)、畜産の研究51:9-18, 244-250.
- 3) 農林水産技術会議事務局編(1994)家畜ふん尿処理・利用技術―農林水産文献解題No.20、農林統計協会、東京.
- 4) 土壤微生物研究会編(1998)新・土の微生物(3)遺伝子と土壤微生物、博友社、東京.
- 5) 羽賀清典(1996)「マニユア・マネージメント」p.51-57. デーリイマン社、東京.
- 6) 西尾道徳・大畑貫一(編)(1998)農業環境を守る微生物利用技術、p.186-206、p.208-229、家の光協会、東京.
- 7) 日本土壤肥料学会(1996)微生物資材評価に関する提言、土肥誌、67(6).
- 8) Yun, S-L. and Ohta, Y. (1997) Some physiological properties of microorganisms capable of deodorizing farm animal feces. *Bioresource Tech.* 60:21-26.
- 9) 齋藤雅典ほか(1999)牛スラリーの悪臭を軽減する土壤細菌、草地試研報 57:1-9.
- 10) 井吹俊彦ほか(1999)自動切り返しと戻し利用を特徴とする牛ふん尿の堆肥化処理、草地試研報 58:39-58.
- 11) 金野隆光・杉原進(1986)土壤生物活性への温度影響の指標化と土壤有機物分解への応用、農環研報 1:51-68.
- 12) 山本克巳(1998)堆きゅう肥の土壤還元利用の促進について、畜産環境情報 3:2-8.