

土 壌 微 生 物 に つ い て

大 矢 朋 子*

〔問〕 土壌中の微生物は、農業にどのように関わっているのですか。

〔回答〕土壌中には、さまざまな微生物が存在しています。これらは表-1のように細菌、放線菌、糸状菌、藻類、原生動物の5つのグループに分けられます³⁾。細菌は土壌中で最も数が多く、栄養要求性も多様で、土壌中の物質循環に深く関わっています。

表-1 土壌微生物の種類

グループ	形態と大きさ	主要な種類
細菌	単細胞 (0.5~2.0 μm ×1.0~8.0 μm) あるいはこの細胞のゆるい連結状	有機栄養 無機栄養 好気性 嫌気性
放線菌	分枝状の菌糸 (直径0.5~2.0 μm)	有機栄養 好気性
糸状菌	分枝状の菌糸 (直径3.0~50 μm)	有機栄養 好気性
藻類	単細胞、細胞の連結状あるいは糸状 (直径3.0~50 μm)	無機栄養 好気性
原生動物	多細胞 (体長20~200 μm)	有機栄養 好気性

放線菌は細菌の一種で菌糸状をしており、抗生物質を生産するものが多くあります。糸状菌(カビ)は、数としては少ないのですが、バイオマス(生体量)は好気的な土壌で全体の70~75%を占めています⁴⁾。また、リグニンやセルロースの分解に重要な役割をはたしています。藻類は光合成を行う能力があり、窒素固定を行うものもあります。原生動物には、アメーバやべん毛虫などが含まれます。これら土壌微生物の形態と大きさの例を、図-1に示しました²⁾。一般的な畑土壌1g中には、数にして1億以上の微生物が存在しており、その重量は、10aの畑でミズミなどの土壌動物も含め700kgにもなります⁵⁾。ここでは土壌微生物の活動と農業との係わりを、物質循環と土壌病害に限定して説明しましょう。

*土壌保全研究室研究員

1. 土壌中での物質循環と微生物

植物は体を構成する元素のうち、炭素を光合成によって空気中から、その他の元素を根を経由して土壌中から吸収しています。日本における集約農業では、化学肥料や有機肥料(堆きゅう肥など)を大量に投入することによって、作物に必要な諸元素を供給しています。この中で必要量の多い窒素、リン、カリウムを多量要素と呼びますが、ここでは窒素の土壌中での循環を例にあげます。

すき込まれた作物残査や有機肥料中には、タンパク質やアミノ酸のような有機態の窒素が含まれています。しかしこれらは、そのままの形では作物にあまり吸収されません。作物が容易に吸収できるのは、主に硝酸態(NO_3^-)やアンモニア態(NH_4^+)といった無機態の窒素です。したがって有機態窒素は、まず微生物による分解を受け無機化したのち、作物に吸収されます。微生物には、菌体を構成するための炭素源として有機物を利用する従属栄養微生物と、二酸化炭素を利用する独立栄養微生物とがあります(表-2)⁶⁾。畑に有機肥料が投入されると、さまざまな従属栄養微生物がそれをさまざまな形に分解しながら増殖します。その過程で、無機化された窒素が土壌中に放出されます。

化学肥料には主にアンモニア態窒素が含まれていますが、一般に畑作物はアンモニア態窒素だけでは十分生育できず、硝酸態窒素を必要とします(水稲などはアンモニア態窒素を主に利用します)⁴⁾。アンモニア態窒素を硝酸態に酸化する反応を「硝化」といい、土壌に特徴的なものです。硝化は、アンモニア態窒素を亜硝酸態窒素(NO_2^-)に変換するアンモニア酸化と、亜硝酸態窒素を硝酸態窒素に変換する亜硝酸酸化の2段階からなり、それぞれ亜硝酸菌(アンモニア酸化菌)と硝酸菌(亜硝酸酸化菌)が関わっています。これらの細菌は有機物を必要

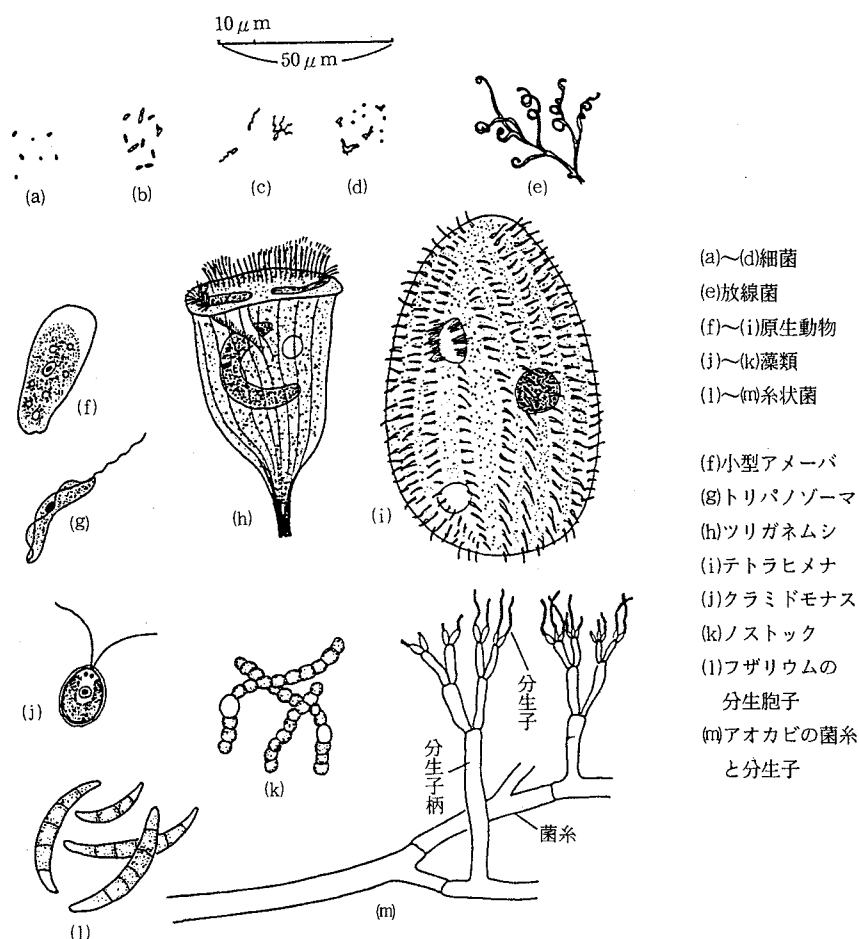


図-1 各種微生物の生態と大きさの比較

としない独立栄養微生物の一種で、エネルギー源としてアンモニアや亜硝酸を利用します（表-2）⁸⁾。この菌なしでは土壤中において硝酸態窒素が生成されないことから、土壌微生物の重要性がわかります。ちなみに、無菌条件下で行う水耕栽培では硝化が進行しないため、窒素の形態や濃度を人工的に調節しなければなりません。

細菌やらん藻の中には、大気中の窒素を固定するものがあります。マメ科植物の根に共生して根粒を作り窒素固定を行う根粒菌がよく知られており、マメ科植物は地力を高めると昔からいわれていました。また反対に、土壤中の硝酸態窒素を還元して、窒素ガスや亜酸化窒素として大気中に放出する脱窒菌と呼ばれるものも土壤中に存在します。

窒素循環の中でもうひとつ忘れてはならないものは、菌体の形で土壤中に蓄えられている窒素です。

畑に有機肥料を投入すると、その直後から微生物の活発な増殖が起こります。肥料に含まれていた窒素のうち、一部はすでに述べたように、無機態窒素として放出されますが、一部は菌体を構成する成分になります。栄養分が枯渇してくると微生物は飢餓状態となり、増殖を止め基礎代謝のみで生命を維持しようとしますが、それもできなくなると、徐々に死滅します。するとその死菌体は、生き残っている微生物に有機物として利用されます。このように、最初に投入した肥料からの窒素の無機化が終わった後でも、死菌体から窒素が徐々に無機化されてでてきます。菌体の形で蓄えられている窒素は、初めに投入された肥料中の窒素の50~60%にもなり⁹⁾、これが「地力」に係わっているのです。

以上に述べた窒素の循環を模式図にしたものが、図-2です。

表-2 エネルギー源と栄養要求性に基づく微生物の分類

エネルギー源	炭 素 源	窒 素 源	電 子 供 与 体	電 子 受 容 体		微 生 物 の 例
光合成微生物	CO ₂ (独立栄養)	N ₂ 同化可能	H ₂ O	好気性	O ₂	藍藻 緑藻
		化 合 体 N	H ₂ S		嫌気性	有機酸
	H ₂ 有機物		有機物	紅色非硫黄細菌		
	有機物 (従属栄養)					
化学合成微生物	CO ₂ (独立栄養)	化 合 体 N	NH ⁴⁺	好気性	O ₂	亜硝酸菌 <i>Nitrosomonas</i>
			NO ₂ ⁻			硝酸菌 <i>Nitrobacter</i>
			H ₂			水素細菌
			Fe ²⁺			鉄細菌
			S, S ₂ O ₃ ²⁻			<i>Thiobacillus thiooxidans</i>
			S, S ₂ O ₃ ²⁻ , H ₂ Sなど	嫌気性	NO ₃ ⁻	<i>Thiobacillus denitrificans</i>
	有機物 (従属栄養)	N ₂ 同化可能	発酵性基質	好気性	O ₂	窒素固定菌 <i>Azotobacter</i> 大腸菌, コウジカビなど
		化 合 体 N				
		N ₂ 同化可能	化 合 体 N	嫌気性	有機物 (糖)	<i>Clostridium pasteurianum</i>
		有機物			NO ₃ ⁻	脱窒菌
		有機酸, H ₂			SO ₄ ²⁻ , SO ₃ ²⁻ , S ₂ O ₃ ²⁻ など	硫酸還元菌
		発酵性基質			有機物, NO ₃ ⁻	発酵性細菌

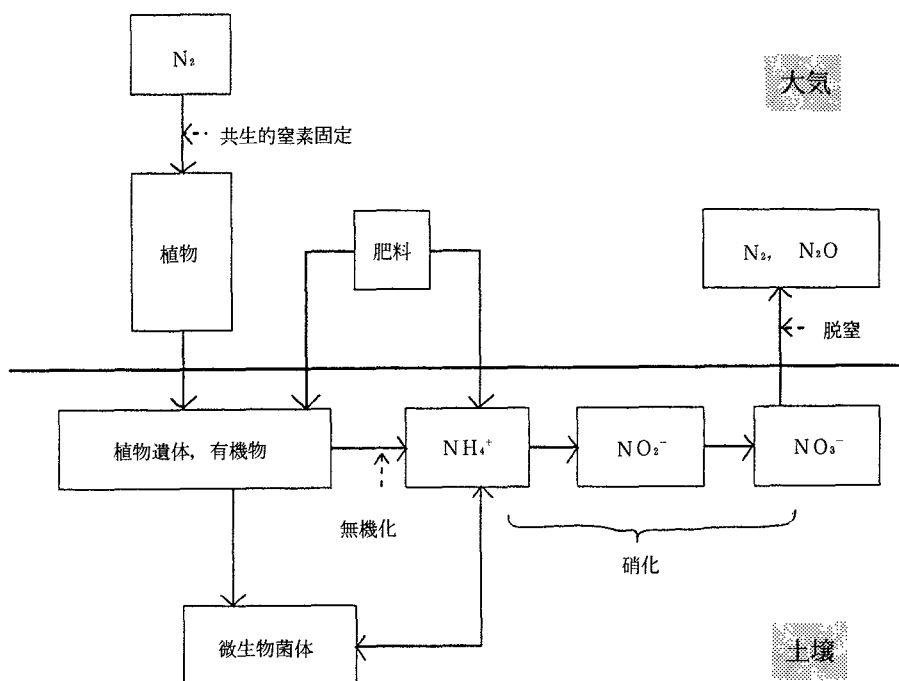


図-2 窒素の循環

2. 連作障害と土壌病原菌

1. では微生物の農業に役立つ面を取りあげましたが、次に作物に害を与える土壌病原菌について述べます。

単一の作物をなん年も続けて作付けする連作により、連作障害と呼ばれる収量の低下が発生することはよく知られています。その直接的な原因の中で、土壌病害は大きな割合を占めています（図-3）⁶⁾。

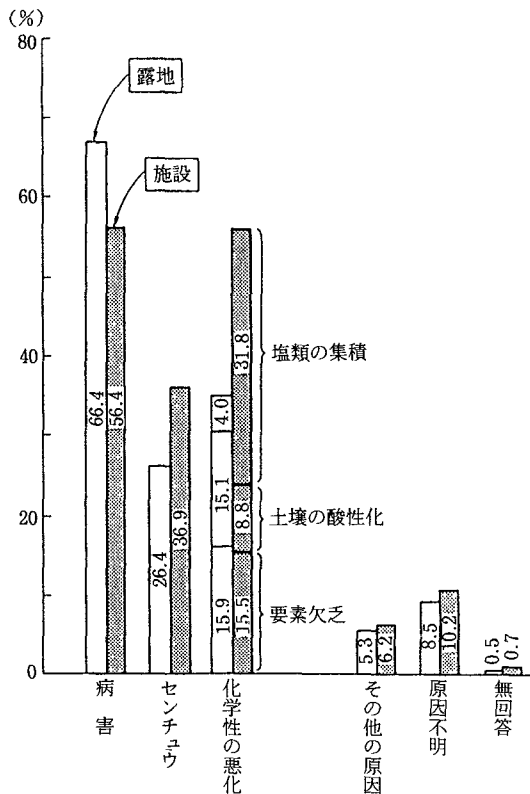


図-3 野菜作農家の考える連作障害の主な原因
(農水省統計情報部, 1983)

土壌微生物のうち、植物に依存した生活を営む「根生菌」でその植物に害を与える寄生菌を、主に土壌病原菌と呼びます（図-4）。これは、植物なしでは生活できない絶対寄生菌と、植物に依存しない生活（腐生生活）のできる導管病菌および外生病原菌とに分けられます。また、寄生できる植物（宿主）の範囲は、1種類に限られるものから、かなり広範囲なものまでさまざまです。野菜に係する土壌病原菌と病害の例を、表-3に示しました⁷⁾。

これらの土壌病原菌は、宿主が作付けされていない期間には、土壌中や宿主残査上で、耐久体（表-4）⁷⁾の形で細々と生存しています。宿主となる作物が植えられると、その根から分泌される物質に反応して発芽し、繁殖器官（表-4）を形成し増殖を始めます。土壌病原菌が宿主に感染し、その中で活発に活動することによって、宿主は衰弱し最終的には枯死します。その後、枯死した宿主は、腐生性の土壌微生物によって分解されます。宿主を失った病原菌の大部分は死滅しますが、一部は再び耐久体を形成し、休眠状態で次の宿主を待ちます。このように、土壌病原菌は土壌中で図-5に示した生活環を繰返しており、作物の収穫後も生存しています。したがって、毎年同じ作物を栽培すると、それを宿主にしうる特定の菌が蓄積され、土壌病害が多発するようになります。

表-5には、土壌病害の防除方法を示しました⁷⁾。土壌中の病原菌密度を下げるために、くん煙剤などを用いて土壌消毒を行うことがあります。この方法は、効果がはっきり現われる利点がある一方で問題点もあります。土壌消毒は病原菌のみでなく、病原菌に対して抑制的に働く「拮抗菌」を含む土壌中の生物を非選択的に殺してしまうのです。通常の土壌中では、多種多様な微生物が平衡を保ちながら生活

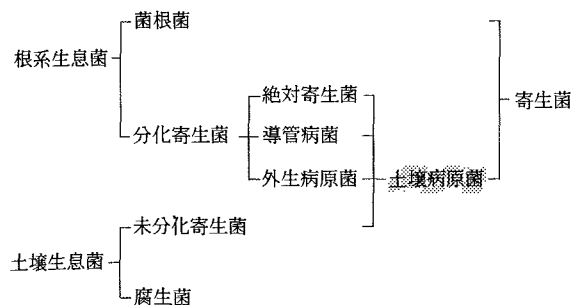


図-4 生活様式による菌類の分類

表-3 野菜に発生する土壌病害の種類

病原菌	病気と作物	件数	病原菌	病気と作物	件数
フザリウム 導管病菌 (149)	イチゴイオウ病	35	エキ病菌 (43)	イチゴネグサレ病	14
	ダイコンイオウ病	28		キュウリエキ病, 灰色エキ病	7
	トマトイオウ病 J ₁	26		トマト灰色エキ病	4
	トマトイオウ病	13		ラッキョウ灰色エキ病	4
	ナスハンガレ病	9		カボチャ, ナス, ビーマン, メ ロン, エダマメ, ホウレンソウ タマネギ, ネギ, ジャガイモ	
	キュウリツルワレ病	8			
	ホウレンソウイオウ病	7			
	スイカツルワレ病	5			
	エンドウタチガレ病	4			
	ナガイモ褐色フハイ病	3			
アオガレ病 細菌 (76)	キャベツ, ネギ, ソラマ メ, サツマイモ		ビシウム病 菌 (17)	ホウレンソウタチガレ病	8
				ミョウガ根茎フハイ病	4
				ショウガ根茎フハイ病	4
				ゴボウ	
アオガレ病 細菌 (76)	トマトアオガレ病	36	放線菌 (16)	ジャガイモソウカ病	11
	ナスアオガレ病	34		サツマイモタチガレ病	4
	ビーマン, トウガラシ, イチゴ, ジャガイモ, シ ュンギク			ダイコン	
パーティシ リウム病菌 (60)	ナス半身イオウ病	38	フザリウム カンブ病菌 (11)	ラッキョウカンブ病	4
	トマト半身イオウ病	11		ヤマイモカンブ病	3
	イチゴ, ハクサイ, ウド, フキ			タマネギ, サトイモ, ニラ	
ネコブ病菌 (58)	ハクサイネコブ病	26	キンカク病 菌 (11)	ネギクログサレキンカク病	4
	キャベツネコブ病	26		レタスキンカク病	4
	カブ, ブロッコリー, カ リフラワー			ナス, ニンニク, ラッキョウ	
ナンブ病細 菌 (45)	ダイコンナンブ病	10	リゾクトニ ア病菌(11)	ニンジンネグサレ病	4
	レタスナンブ病	5		レタススソガレ病	2
	キャベツナンブ病	4		ヤマイモ, ダイコン, ゴボウ, ジャガイモ	
	トマトナンブ病	4			
	ネギナンブ病	4	アファノマイ セス病菌 (9)	ホウレンソウネグビレ病	3
	ビーマン, ハクサイ, タ マネギ, ラッキョウ, ト ウガラシ, エダマメ, ブ ロッコリー, サトイモ, ヤマイモ, ニンジン			ダイコン, カブ, ハクサイ	
			シラキヌ病 菌 (6)	フキシラキヌ病	2
				ネギシラキヌ病	2
				トウガラシ, ニンジン	

注 1. 数字は該当地域数, () は合計。
2. この表は, 昭和58年に野菜試が都道府県の野菜・花き担当専門技術員に依頼して行ったアンケート調査結果を取りまとめたものである。

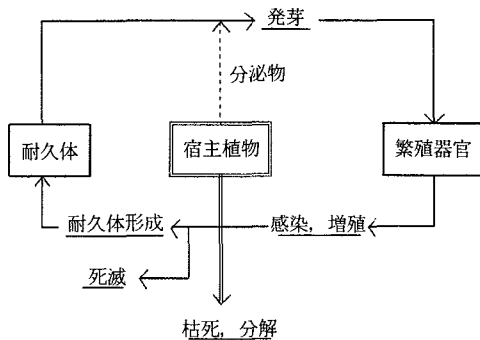


図-5 土壌病原菌の生活環

していますが, 菌密度の低下した土壌は緩衝能が低く大変不安定です。そして, 生き残ったごく一部の微生物が死菌体を栄養源として急激に増殖するため,

表-4 主な土壌伝染性病原菌の繁殖器官と耐久体
(松田, 1977)

病原菌	繁殖器官	耐久体	
		器官名	生存期間
アブラナ科のネコブ病菌	変形体, アメーバ	休眠孢子	5~6年(10年以内)
ビシウム菌	遊走子のう, 遊走子, 菌糸	卵孢子(被のう孢子)	2~3年(12年)
アファノマイセス菌	同 上	同 上	2~3年(10年)
エキ病菌	同 上	卵孢子, 厚膜孢子	2~3年
シラキヌ病菌	担孢子, 菌糸	菌 核	1カ月以上~5年
紫モンバ病菌	同 上	菌核, 菌糸束	4~7年
リゾクトニア菌	同 上	菌核, 厚膜化細胞	2~3年(乾燥土6年)
パーティシリウム菌	分生孢子, 菌糸	菌 核	12年
フザリウム菌	小型・大型分生孢子, 菌糸	厚膜孢子	4~5年(11年)

注 生存期間の()内は, 室内保存で生存期間が最も長かった試験例

表－５ 土壌病害防除の戦略と手段

戦 略	手 段	具 体 的 方 法
まん延防止	種苗消毒 床土消毒 罹病残渣処理 作業機の洗浄	薬剤、乾熱 くん蒸剤、蒸気殺菌 焼却、埋没 堆肥化、嫌気発酵
病原菌密度を下げる	短期	土壌くん蒸 太陽熱利用
	長期	輪作 湛水
病原菌の活動を抑える	土壌pHの制御 土壌水分の制御 温度の制御	ハウス密閉利用
	有機物 拮抗微生物	排水、高うね、マルチ マルチ 播種期による回避
作物の抵抗力を強める	抵抗性品種 抵抗性合本 施肥管理 有機物 微生物	抵抗性誘導微生物
地域的な取組み	伝播防止 ブロックローテーション 圃場カルテ	

結果的に病原菌が消毒前より増えてしまう場合もあります。無菌的な水耕栽培で、いったん病原菌が混入すると、またたく間に病気が広がってしまうのと同じ現象です。また、土壌消毒を頻繁に行うと、微生物の死滅・増殖の繰返しによって土壌中の有機物含量が減少し、地力が低下するとともに土壌が固くなります。したがって、連作障害を防ぐためには、輪作などの耕種防除によって病原菌が優先することのない土壌環境を作る方がよいようです。

北海道の野菜産地でも表－６に示すような連作障害が発生しており¹⁾、中には多発して産地全体が廃耕に陥る場合もあります。しかし、土壌微生物研究

表－６ 北海道における野菜の土壌病原性連作障害

作 物	連 作 障 害
ト マ ト	青枯病、萎ちょう病、半身萎ちょう病
ナ ス	褐紋病、半枯病、半身萎ちょう病
キ ュ ウ リ	つる割病、疫病、つる枯病
ス イ カ	つる枯病、半身萎ちょう病、つる割病
メ ロ ン	つる枯病、つる割病、半身萎ちょう病
ダイコン	萎黄病、黒しみ病
ハクサイ	根こぶ病
キャベツ	根こぶ病
タマネギ	軟腐病、乾腐病、黒穂病
ネギ	萎ちょう病
アスパラガス	紫紋羽病
ゴボウ	黒斑細菌病
レタス	軟腐病、すそ枯病
ハウレンソウ	萎ちょう病、立枯病、根腐病
イチゴ	萎黄病、萎ちょう病

者の努力により、生態的・耕種的な防除が確立され、ハウレンソウやスイカの産地が存続するようになった事例もあります^{1, 5)}。

本稿では、土壌微生物の有益な点と有害な点の概要をひとつずつ例示しました。しかし土壌微生物は、単純にどの菌が良い悪いというものではありません。多種多様な微生物群が生態系としてのバランスを保ちながら生活を営んでいる土壌が、健全な土壌であるといえるのです。また、土壌中には、機能が未知の微生物が数多く存在します。というより、既知のものの方がわずかでしょう。硝化菌、根粒菌、拮抗菌などのいわゆる「有用微生物」あるいは病原菌などの「有害微生物」を中心に進んできた土壌微生物の分野ですが、それ以外の課題もまだ山積しています。

参 考 文 献

- 1) 赤司和隆：ハウレンソウ根腐病の発生機構と生態的防除に関する土壌肥料学的研究，土壌肥料学会誌，63, 259～262, 1992.
- 2) 服部 勉：微生物生態入門（第2版），p. 6, 東京大学出版会，1990.
- 3) 木村真人：土壌中の微生物とその働き（その1）－土壌の微生物，微生物の特徴－，農業土木学会誌，59, 415～420, 1991.
- 4) 熊沢喜久雄：植物栄養学大要，p. 76, 養賢堂，1974.
- 5) 成田保三郎：連作障害と土壌微生物，北海道農業と土壌肥料1987, p. 209～218, 財団法人北農会，1987.
- 6) 西尾道徳：土壌微生物とどうつきあうか，p. 20, 31, 156, 170, 農文協，1988.
- 7) 小川 奎：土壌病害をどう防ぐか，p. 16, 49, 81, 農文協，1988.
- 8) 柳田友道：微生物科学1，p. 11, 学会出版センター，1980.