

環境保全を目指した芝草管理技術の開発

——ゴルフ場における総合的生物多様性管理——

千葉県農業試験場 藤 家 梓
あずさ

はじめに

我が国における芝草利用の主流は庭園で、平安時代には日本独特の芝草の用い方をした庭園が出現した（北村，1997）。今日では、芝草はゴルフ場、競技場、道路などの法面、空港、庭園、公園、家庭など広い範囲で使われている。利用されている芝草の種類も多い（眞木，1997）。暖地型芝草であるノシバは、北海道南部を北限としてほぼ我が国全土に、コウライシバは九州などの暖地にそれぞれ自生している。寒地型芝草としては、海外から導入されたベントグラス類、ブルーグラス類、フェスク類などが用いられている。芝草は、私たちの生活にとけ込んでいる。しかし、その利用が良くも悪くも注目されているのがゴルフ場である。

1903年に神戸市に我が国最初のゴルフ場が作られたが、今日では2,000箇所余りのゴルフ場があり、年間延べ1億人ほどがゴルフをしている（杉光，1998）。千葉県にも136箇所（1998年現在）のゴルフ場があり、北海道、兵庫県とならんで多い。緑の芝生（芝草が栽植された場所）の上でプレーするゴルフは、老若男女が楽しめる国民的スポーツといえるかもしれない。

しかし、ゴルフ場には問題点も多い。特に問題となるのは、造成時の自然破壊と芝草などの維持管理のための化学農薬散布による環境負荷の二点である。ゴルフ場は自然や環境に大きな負担を強いる側面があり、ゴルフはそのような宿命を負ったスポーツであることをゴルファーを含めてゴルフ関係者は認識する必要がある。ゴルフが真に国民的スポーツの地位を得るには、自然や環境への負担を軽減するとともに、そのことに対する国民の懸念も払拭しなければならない。

前者の問題、造成時の自然破壊に対しては、地形を切り崩し、大量の土を動かすといった従来の造成法への反省から、もとの地形を尊重し、表土や林地を残して芝草以外の植物も活かすといった工法が提唱されている（堀，1992；矢倉，1992）。これらを言い換えれば、我が国で手本とされてきた人工美を追求するアメリカ型ゴル

フ場から脱却し、自然美を追求するイギリス型ゴルフ場を目指すことであるが（前原，1992）、アメリカでも最近では環境保全に配慮したゴルフ場が注目されている。

本稿では後者の問題、芝草などの維持管理に用いられる化学農薬による環境負荷について、環境保全を目指した芝草管理技術の立場から、軽減のための考え方を述べたい。千葉県農業試験場では、この問題に対応するため芝草プロジェクトを発足させ、化学農薬に依存しない芝草管理技術の開発を行ってきた。そこで、その研究体制および主な技術開発についても紹介する。

本稿のご校閲をいただいた桐谷圭治博士、ご助言をいただいた寺嶋芳江博士、真行寺 孝氏および加藤正広氏に厚くお礼を申し上げる。

I 環境保全を目指した芝草管理技術とは

1992年にブラジルで開催された「環境保護と開発に関する国連会議」の中で「生物多様性条約」が調印されたが、これと前後して生物の多様性を守ることの重要性が各方面から指摘されている（例えば、ワイツゼッカー，1990；川那部，1996；井上・和田，1998）。農業場面においても、水田が特に注目され、そこでの生物多様性を守るための農業技術のあり方についての提案もなされている（守山，1997；宇田川，1998）。桐谷（1998）は、水田を対象とした農業研究の目的は主に生産性の向上と安定性の追求であり、有害生物（病害虫など）の管理法はかつては化学農薬一辺倒であったが、その反省から総合的有害生物管理（Integrated Pest Management=IPM）の方向に進んでいるとした。そのうえで、今後は総合的生物多様性管理（Integrated Biodiversity Management=IBM）のための技術開発を行う必要があると提唱している。水田における有害生物を対象としたIPMとそれ以外の生物種（普通種および貴重種）の保全・保護の両立である。この考え方では、有害生物の密度を「被害許容水準」以下に管理し、それ以外の生物種の密度を「絶滅限界密度」以上に引き上げるとともに、高密度で害虫化する恐れのある種の密度管理を目指している。

IBMを実施するためには、技術的に解決しなければならない問題も多い。しかし、今後のゴルフ場のあり方を考えたとき、ゴルフ場にこそIBMの導入が必要であ

Development of Turfgrass Management Technology Aiming at Environmental Conservation. ——IBM in Golf Courses——

By Azusa FUJIE

（キーワード：環境保全，芝草，ゴルフ場，IPM，IBM）

る。ゴルフ場に対する意識調査でも、環境問題への関心が高く、自然と調和したゴルフ場が期待されている(表-1)。ゴルフ場の造成に対しては、希少生物の保護や芝生面積の縮小の必要性が提案されている(藤崎, 1992)。

ゴルフ場は、主食作物としての水稻の生産を目指す水田とは異なり、ゴルフを行うための機能が確保されれば、植生は単純である必要はなく、芝草、樹木、それ以外の植物をバランスよく配置することができる。ゴルフ場には、生物多様性を支える様々な空間(芝地、草地、林地、沼池、湿地など)を設けることが可能であり、IBM の考え方を水田以上に導入しやすいといえる。従来はプレー機能が強く、美しく変化に富んだ地形で、管理が行き届き、さらに伝統があれば申し分ないゴルフ場とされてきた(矢倉, 1992)。当然のことかもしれないが、そこには生物多様性という考え方はない。

図-1 は桐谷(1998) にならって、ゴルフ場生態系の構成要素と IBM の関係を示したものである。ゴルフコースを模式的に示したのが図-2 であるが、この中でグリーンはゴルフ場の顔ともいわれ、そこでは IPM が強く働き、害虫や雑草などの有害生物が存在する余地はない。しかし、一つのゴルフ場の面積がおおよそ 100 ha ある中で、グリーン面積の占める割合は 1~2% であるので問題は少ない。ティでもグリーンほどではないにしても IPM が強く働くが、面積的にはわずかである。フェアウェイはコースの中核を占め、面積も広い。ここでもゴルフ機能や景観を損なわない程度の IPM は必要であるが、生物種の保全・保護をかなり行うことができる。すなわち、芝草以外の生物の存在をある程度許容することができる。ラフは管理された芝地にしたほうが景観的にもよいし、打ち込まれたボールを探すのにも都合

がよいという声もある。しかし、機能的にはラフは必ずしも芝地である必要はなく、自然植生を活かすべきである。ここでは、生物種の保全・保護を強力に行うことができる。林地では自然植生としての樹木と下草を重視し、ラフ以上に生物種の保全・保護を強力に行うことにより、ゴルフ場における生物多様性のシンボリックなエリアにすることができる。この場合、樹木を伐採しても新

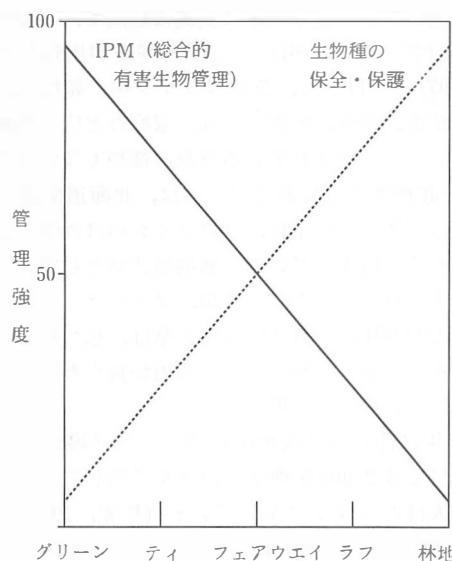


図-1 ゴルフ場生態系の構成要素と総合的生物多様性管理 (IBM)

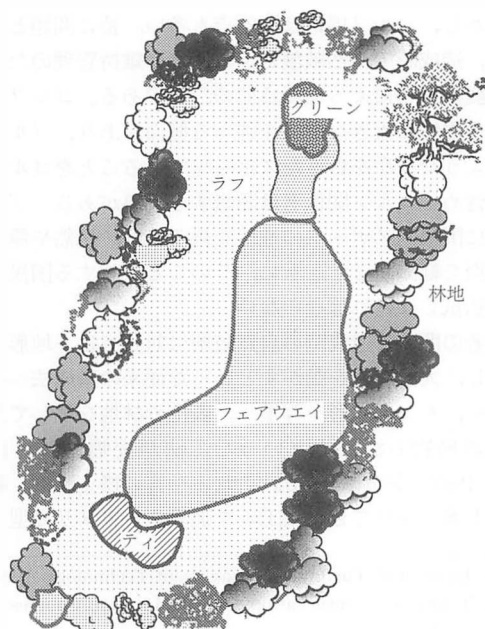


図-2 ゴルフコースの模式図

表-1 ゴルフ場に対する意識調査(前原, 1992 年より)

項目(複数回答)	回 答 者	
	一般社会人 (%)	ゴルファー (%)
ゴルフ場の環境問題		
化学農薬による汚染	107.4	116.6
造成による自然破壊	59.8	83.3
生態系の崩壊	25.2	30.9
交通量の増加	4.7	5.8
その他	1.9	0.7
ゴルフ場に期待すること		
自然との調和	46.7	50.0
水源地のそばに造らない	17.3	20.7
これ以上は不要	27.3	26.7
サービスの充実・料金軽減等	44.7	62.0
その他	14.0	6.0

たに植林すればよいという考え方は否定される。

会員制（メンバーシップ）のゴルフ場では、どうしても IPM の比重が高くなりがちであろうが、非会員制（パブリック）のゴルフ場では、生物種の保全・保護の比重を高くしやすいと考えられる。生物多様性の保全に配慮したゴルフ場の姿勢が、ゴルファーも含めた国民に広く支持されるようになれば、ゴルフ場の大多数をしめる会員制のゴルフ場も変わるであろう。

有害生物を管理する IPM と生物種の保全・保護との間には、技術的に矛盾する問題も生じることは容易に予想される。しかし、それらの問題点を克服し、IPM と生物種の保全・保護を組み合わせることにより、生物多様性や環境保全に配慮した芝草管理技術を確立することが、ゴルフ場には必要である。

II プロジェクト研究の開始

1970 年代の中ごろにゴルフ場造成のピークがあったが、その後 1987 年に総合保養地域整備法（リゾート法）が制定されたこともあり、ゴルフ場は再び急増し、1990 年には全国で 1,704 箇所（1970 年 549 箇所）となった（杉光, 1998）。ゴルフ場の増加に伴い、芝草の維持管理のための農薬（特に化学農薬）が、河川などの環境を汚染するのではないかと懸念が広がった。実態としても、1989 年に北海道においてゴルフ場で散布された殺菌剤の河川への流出が原因と考えられる養殖魚の大量死亡事故も起こった。

これらの動向に対応して、多くの自治体では農薬使用の実態調査や規制を実施しだした。千葉県でも、1990 年に「ゴルフ場等の開発事業に関する指導要綱」を改正し、ゴルフ場の無農薬管理を推進することとした。4 月以降開設される新設ゴルフ場には無農薬管理を要請し、既設ゴルフ場には減農薬管理を求めた。この方針に対して、当初関係者のとまどい、化学農薬の使用に肯定的な立場やゴルフ場そのものに否定的立場からの批判的意見もあったが、全体としては高い評価が得られた（参考文献の新聞記事参照）。

千葉県では、芝草の無農薬管理技術を開発するため芝草プロジェクトを発足させた。農業試験場でも、花植木研究室を中心としたプロジェクトチームを設立し、関係機関との連携・協力関係のもとに技術開発を始め、現在に至っている。プロジェクトには、農業試験場の 6 研究室から栽培、病害虫、土壌肥料、育種、生物工学分野の研究職員が、この 10 年間に延べ 134 名参画した。農業試験場内には、調査室や機械器具収納庫も備えた芝草試験圃場（1.4 ha）とナーセリーが設置された。試験圃場には、ゴルフ場で用いられている主な芝草であるノシ

バ、コウライシバ、ペントグラス類、ブルーグラス類、ライグラス類などが栽植された。

害虫などの有害生物の防除法は、化学的、生物的、物理的、生態的（耕種的）な防除法に分類される。ゴルフ場の芝草のように管理を必要とする植生において有害生物を防除するには、これらの方法を組み合わせて適用する必要がある。芝草プロジェクトでは、「無農薬管理」をキーワードに化学的防除法以外の生物的、物理的、耕種的防除法の開発を目指した。芝草プロジェクトの現在の研究課題は、芝草の病害虫・雑草を対象にこれまでに開発した無農薬管理技術の実証試験、耐病虫性芝草の育種・選定、さらなる技術開発のための基礎的技術の確立、の三本柱からなっている。

化学農薬の使用という観点から見れば、IPM には減農薬から無農薬まで含まれるという認識のもとに、藤家（1998 a, 1999）は「無農薬管理」を IPM の一つのあり方と位置づけた。しかし、芝草プロジェクトにおける研究には IPM として未解決の問題が多い。また、桐谷（1998）の提唱した IBM には及んでいないが、先に述べたように今後のゴルフ場のあり方を考えたとき、方向性として IBM の導入は極めて重要な課題である。

III 環境保全を目指した芝草管理技術の開発

芝草プロジェクトで開発した技術の詳細は、青木（1996）、藤家（1994, 1998 a, 1998 b, 1999）および「THE GREEN CHALLENGE」を参照されたい。雑草防除技術も開発したが、今回は割愛した。なお、技術開発の多くはゴルフ場、企業、大学、国公立研究機関との共同研究や研究協力のもとに行われた。

1 生物的防除

（1）天敵線虫の利用

Steinernema kushidai（串田ら, 1987; MAMIYA, 1988）のコガネムシ類幼虫に対する殺虫性の解明や実用化技術の開発を行った。摂食量の多い 3 齢幼虫が線虫を口から取り込みやすく、早く感染死亡した（藤家ら, 1993 a）。線虫の感染態 3 期幼虫を用いた製剤（芝市ネマ®）が、1997 年に農薬登録された。適用害虫はコガネムシ類とシバオサゾウムシである。線虫の殺虫性は、高温・乾燥（FUJIE et al., 1995, 1996）や紫外線（FUJIE and YOKOYAMA, 1998）に影響された。技術開発には、農林水産省森林総合研究所より分与された線虫を用いた。

S. carpocapsae を用いた製剤（バイオセーフ®）が、1993 年に農薬登録された。早くから本剤に注目し、効果的な処理濃度、処理量、処理時期、防除効果の検討を行った。対象害虫はシバオサゾウムシとタマナヤガであるが、シバツトガやスジキリヨトウにも卓効がある。

(2) 天敵糸状菌の利用

コガネムシ類から分離された *Metarhizium anisopliae* (森林総合研究所より分与) の殺虫性を高めるため、菌糸プロトプラストに紫外線を照射した (YOKOYAMA et al., 1993)。製剤化の過程でオイルを添加することにより、取扱いが容易で、さらに殺虫性の高い製剤ができたが、実用化には至っていない。殺虫性の向上には、オイルが重要な役割を果たしていたが (藤家ら, 1993 b), このことは海外でもほぼ同時期に明らかにされた (BATEMAN et al., 1993)。なお, *M. anisopliae* は, 土着の天敵微生物として広い範囲に分布しており, 害虫密度を穏やかに低下させるという重要な役割を持っている。

(3) 天敵細菌の利用

芝草害虫用として, 農作物害虫に広く用いられている *Bacillus thuringiensis* 製剤 (BT 剤) に注目した。開発にかかわった BT 剤 (ターフル®) は, シバツトガとスジキリヨトウを対象に農薬登録された。

1997 年夏に千葉県農業試験場の芝草圃場で発生したセマダラコガネ幼虫から, *B. popilliae* (乳化病菌, 図-3) を単離した (横山ら, 1998)。セマダラコガネやドウガネブイブイの幼虫に対して, 遅効的であるが強い殺虫性を示した。現在, 本菌の生物学的性質の解明, 培養技術の開発, 防除効果の評価などを行っている。

(4) フェロモンの利用

シバツトガとスジキリヨトウの性フェロモンの成分と合成法を解明し, 実用化技術の開発を行った (清水・福田, 1993)。合成性フェロモン剤 (コンフューザー G®) はシバツトガとスジキリヨトウの交信かく乱剤として農薬登録された。

ドウガネブイブイ, セマダラコガネなどのコガネムシ類を対象としても性フェロモンの成分と合成法の解明を行った (長谷川, 1995)。現在, 大量誘殺による防除技術の開発を行っているが, 発生予察剤 (ウインズパック®, ニトルアー®, コガネコール®) はすでに実用

化されている。

2 物理的防除

(1) ネット被覆による防除

芝草をネットで被覆することによるシバツトガの防除法を開発した。シバツトガの卵は 0.2 mm と小さいにもかかわらず, 4 mm 目のネット被覆でも産卵を強く抑制し, 被害防止効果は大きかった。

(2) エンドファイトの検出

ペレニアルライグラスやトールフェスクのような芝草に共生し, 病虫害や乾燥などに対する抵抗性をもたらすエンドファイトと総称される糸状菌の存在が注目されている。そこで, ペレニアルライグラスを対象にして抗原抗体反応を利用し, エンドファイト感染の簡易検出法を開発した (FUKAMI et al., 1997)。

(3) 夜間送風

送風はグリーン管理の一環として既にゴルフ場で行われていたが, 病害抑制効果は明確ではなかった。そこで, グラススポット病を対象に夜間送風の抑制効果を明らかにするとともに, 送風用のファンの検討も行った。

3 耕種の防除

(1) 遺伝子導入による耐虫性芝草の育種の試み

耐虫性品種の利用は, 最も基盤的な害虫管理法であるが, 芝草には明確に耐虫性を示す品種・系統は見当たらない。そこで, ベントグラスを対象に遺伝子導入技術 (浅野, 1995; 伊東ら, 1995) を確立し, *B. thuringiensis* の殺虫タンパク遺伝子の導入を試みた。しかし, シバツトガやスジキリヨトウで生物検定を行っても耐虫性は付与されなかったため, 遺伝子の改変を行い, 再導入を試みている。

(2) 耐病性品種の育成

耐病性品種の利用は, 最も基盤的な病害管理法である。そこで, ベントグラスを対象に葉腐病 (ブラウンパッチ) に対する耐病性品種, 「チバグリーン B-1」と「チバグリーン B-2」を育成し, 1997 年に品種登録した。「チバグリーン B-1」は, 既にいくつかのゴルフ場のグリーンで使用されている。ゴルフ場で最も多く使われているノシバとコウライシバを対象とした, 耐病性品種の育成も行っている。

(3) 土壌表層 pH の調整

コウライシバの葉腐病 (ラージパッチ) の発生は土壌 pH に大きく支配されており, 特に土壌表層 (0~1 cm) の pH の影響が大きい (図-4)。ゴルフ場では, pH 7.0 以上の土壌も見られるが, 土壌表層の pH を 5 程度に保つことにより, 葉腐病の発生抑制効果が顕著であることを明らかにした (UMEMOTO et al., 1997)。pH の調整には硫黄が適していたので, 使いやすい硫黄資材の

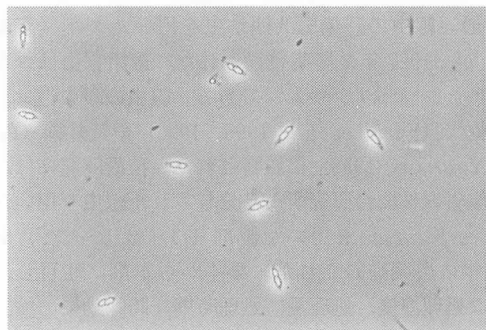


図-3 *Bacillus popilliae* セマダラ株の胞子 (×1,000)
(横山原図)

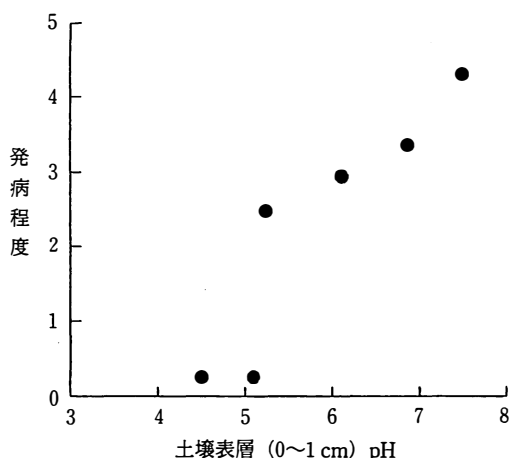


図-4 芝生の土壌表層 pH とコウライシバの葉腐病発病程度の関係 (千葉農試, 1998)

開発も行っている。本技術は、カーブラリア葉枯病 (犬の足跡) などいくつかの病害抑制にも有効である。

(4) 尿素施用

グラススポット病は、窒素肥料レベルの高いペントグラスでは発生しにくいとされている。窒素成分量と同じでも、硫酸や硝酸石灰に比べて尿素がグラススポット病の発生を強く抑制することを明らかにした (梅本ら, 1995)。

IV 問題点と今後の方向

ゴルフ場における無農薬管理の推進と管理技術の開発が同時に実施されたため、当初は走りながら考えるといった状況であった。当時、化学的防除法以外には適当な防除法が少なく、芝草プロジェクトにおける研究は、化学的防除法以外の防除法の開発に力点が置かれた。特に重要な土着天敵の利用に関しては、天敵微生物を対象にした技術開発には着手したが、多くの天敵生物の利用については未着手である。

開発された技術も化学農薬との比較という観点で見した場合、防除の手間や費用に遜色がないとは言いがたい。ゴルフ場は常に厳しい防除コストの評価にさらされており、経済性を考えた場合、開発技術の導入は昨今の経済情勢では容易ではない。一方、ゴルファーの側にも一般論としては化学農薬の使用に否定的でも、実際にプレーを行う場合にはゴルフ場に高い管理水準を求めるといった問題がある。このことが、ゴルフ場側の管理に対する考え方に大きく影響している。

今後、管理経費への配慮をしつつ、IPM の三つの概

念 (中筋, 1997) 「防除方法の多様化・被害解析・発生予察」に関連した技術開発をさらに進め、芝草などの維持管理による環境負荷を低減させる必要がある。さらに、ゴルフを真に国民的スポーツにするためには、ゴルフ場の管理を IPM から IBM に移行させる必要がある。

おわりに

自然や環境への負担を最小限にした生物多様性の高い「生物の宝庫」のようなゴルフ場は、スポーツの場としてだけでなく、緑地として高い重要性を持つことになる。水田は言うまでもなく人為的に作られたものであるが、水田と集落から成る農村風景は日本人の原風景と言っても過言でないほど私たちの心になじんでいる。ゴルフ場の緑も同様に心になじむ日がくるかもしれない。

ゴルフ場が自然との共生を目指す場合、日本の風土に合った日本芝の利用に始まって、IPM (総合的有害生物管理) から IBM (総合的生物多様性管理) へ移行することにより、短期的にはいわゆるゴルフ場の水準は低下する恐れがある。しかし、いずれは生物種の保全・保護への貢献度も加味した新たなゴルフ場の評価基準ができるであろう。

主な参考文献

- 1) 青木孝一 (1996): 農業技術 51: 49~53.
- 2) 千葉県ゴルフ場等無農薬化推進連絡協議会 (1991~1999) THE GREEN CHALLENGE Vol. 1~9.
- 3) 千葉日報 (1990 a): 千葉県の挑戦—ゴルフ場無農薬化宣言— (1990 年 8 月 7 日より 38 回連載).
- 4) ——— (1990 b): ゴルフ場無農薬化への期待 (1990 年 8 月 27 日「社説」).
- 5) 藤家 梓 (1994): 植物防疫 48: 478~481.
- 6) ——— (1998 a): 同上 52: 444~447.
- 7) ——— (1998 b): 総合防除の考え方と実際, シバ (農業総覧 病害虫防除・資材編), 農山漁村文化協会, 東京, pp. 626 の 4~10.
- 8) ——— (1999): 北海道芝草研究会報 23: 15~32.
- 9) 鳩山邦夫 (1990): ゴルフ場の生態系破壊は深刻—凍結も含め政治の取り組みが必要— (朝日新聞 1990 年 5 月 18 日「論壇」).
- 10) 井上民二・和田英太郎 (編著) (A98): 岩波講座 地球環境学 5. 生物多様性とその保全, 岩波書店, 東京, 253 pp.
- 11) 川那部浩哉 (1996): 曖昧の生態学, 農山漁村文化協会, 東京, 230 pp.
- 12) 桐谷圭治 (1998): 研究ジャーナル 21 (12): 33~37.
- 13) 北村文雄ら (編著) (1997): 芝草・芝地ハンドブック, 博友社, 東京, 348 pp.
- 14) 中筋房夫 (1997): 総合的害虫管理学, 養賢堂, 東京, 273 pp.
- 15) 四手井綱英 (監修) (1992): 環境にやさしいゴルフ場, 博友社, 東京, 283 pp.
- 16) 杉光英俊ら (1998): 環境保全と地域開発—ゴルフ場開発をめぐる学際的研究—, 徳山大学総合経済研究所, 徳山, 262 pp.
- 17) ワイツゼッカー, E. U. (1990) [監訳: 宮本憲一ら (1994)]: 地球環境政策—地球サミットから環境の 21 世紀へ—, 有斐閣, 東京, 344 pp.