

緑研 グリーンニュース No.91

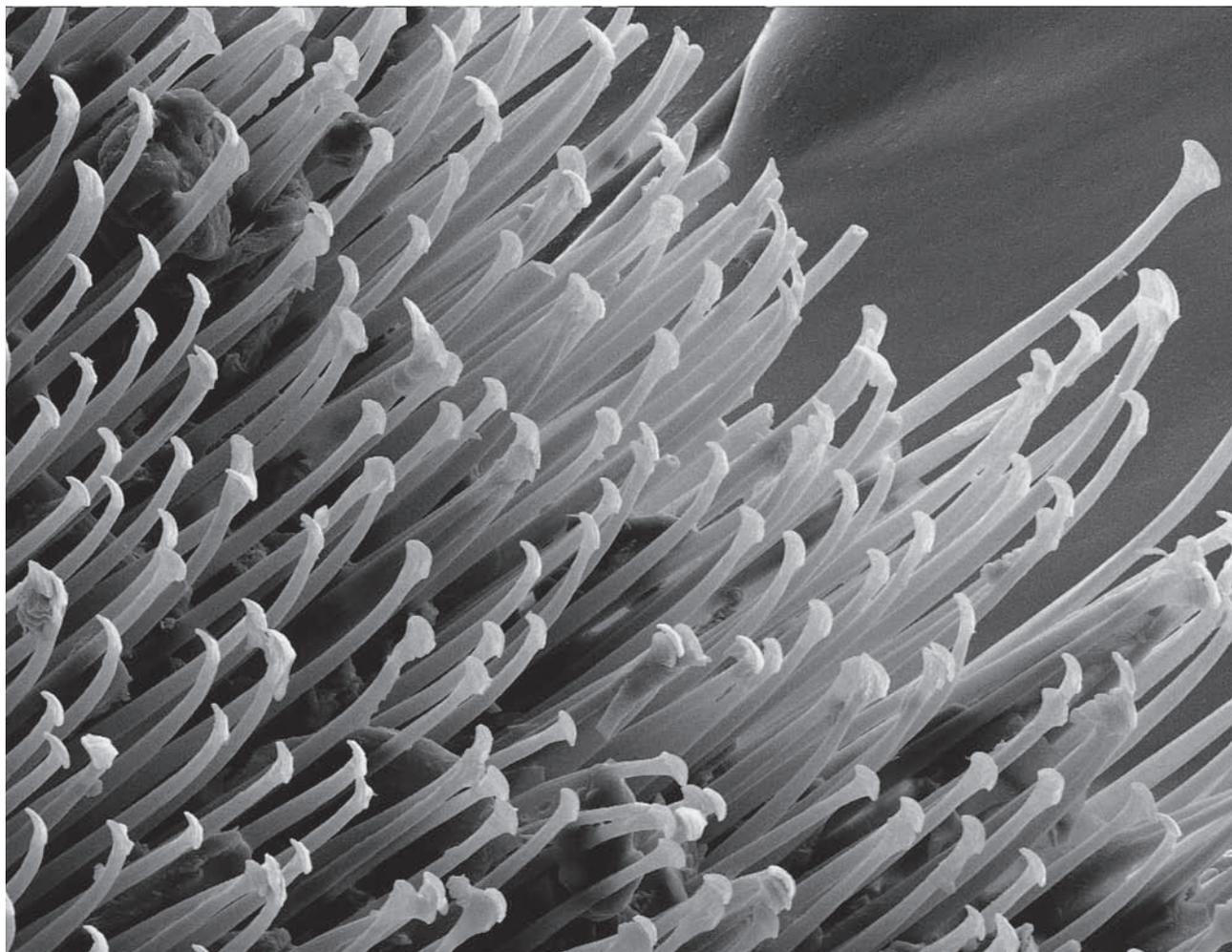
GREEN NEWS

平成 25 年 12 月 16 日

ISSN 0915-8812

発行者・株式会社 理研グリーン

発行人・菅谷 昌司



カメノコテントウの足の 走査電子顕微鏡写真(前号の続き)

カメノコテントウの足には、フォークの先端のような構造と、ヘアブラシのような構造の2種が観察されることを前号でご紹介いたしました。今回はヘアブラシのような構造を走査電顕でさらに拡大して観察してみました。ブラシの櫛の一本一本の先端には円盤状のものがくっついて見えます。この円盤状のものが着地表面につき、同時にこれらを支える長い棒状の支柱もしなることによって、衝撃が和らげられるものと思われます。棒状の支柱の中心部は孔が空いていますので、他にもっと働きがあるのかもしれない。

(石川県立大学 農学博士 古賀博則)

本号の誌面

農と緑のための土と肥料のはなし(その15) ……1	
——リサイクルリン酸肥料のはなし(3)——	
現場における病害管理(39) ……7	
——顕微鏡により何が見え、何が分かるか(その1)——	
グリーン考現学(23) ……12	
——スポーツターフは国際大会によって進化する——	
自然を問い直す(7) ……18	
——風景はビジネスと両立するか——	
雑草学講座：雑草の素顔と付き合い方 ……25	
——その5—雑草はなぜ生える③：種子繁殖のメカニズム——	
芝蟲紳士録(その十八) ……31	

農と緑のための土と肥料のはなし(その 15)

リサイクルリン酸肥料 のはなし(3)

東京農業大学応用生物科学部 教授 後藤 逸男



1. 製鋼スラグ中のリン酸

本誌 No89, 2 ページの図 2 に示す日本国内におけるリンのマテリアルフローによれば、鉄鋼業から副成されるスラグ中には P として 93,070 トンのリン酸が含まれている。その量は輸入されるリン鉱石中のリン酸 (P として、110,560 トン) にほぼ匹敵する。また、下水汚泥中のリン酸 (P として、39,580 トン) の約 2.4 倍に達することがわかる。鉄鋼業から副成されるスラグ、すなわち鉄鋼スラグは貴重な未利用国産リン酸資源である。

人の生活に不可欠な鉄鋼製品は鉄鉱石と石灰岩・コークスを原料として製鉄所で生産される。2012 年におけるわが国の粗鋼生産量¹⁾ は年間 10,723 万トンに及ぶが、高炉で鉄鉱石から銑鉄をつくる過程でケイ酸カルシウムを主成分とする 2,464 万トンの高炉スラグと、転炉あるいは電気炉で銑鉄などから鋼をつくる過程でケイ酸カルシウムの他に鉄・マグネシウム・マンガン・リン酸・ホウ素などの副成分を含む 1,376 万トンの製鋼スラグが副産物として発生している (図 1)。この高炉スラグと製鋼スラグを総称して鉄鋼スラグと呼ぶ。このうち製鋼スラグは転炉スラグ・電気炉スラグ・脱リンスラグなどに大別されるが、量的には転炉スラグが 80% を占めている。

銑鉄中には鉄鉱石に由来する 0.1% 程度以下のリン酸が含有されるが、鉄鋼業にとってはこのリン酸が鋼の品質低下をもたらす厄介者である。そのため製鋼過程では徹底的に銑鉄中のリン酸除去が行われる。まず、銑鉄に石灰・酸化鉄・螢石などを添加してリン酸を除去するための溶鉄予備処理で脱リンスラグ、それに続く転炉あるいは電気炉では銑鉄に酸

素を送り込み炭素・ケイ素・リン・マンガンなどの不純物を除去する工程で転炉スラグ・電気炉スラグができる。

これらの鉄鋼スラグのうち、高炉スラグは「ケイカル」として従来から主に水田でケイ酸肥料として利用されてきた。最盛期には年間 100 万トンに達したが、最近では 20 万トン程度まで減少している。製鋼スラグについては、粒径 0.64mm 以下にまで細かく粉砕した資材は副産石灰肥料として普通肥料に、粒径 3.2mm 以下に粗く粉砕した資材は特殊肥料として市販され、従来から主に老朽化水田への含鉄資材として農業利用されてきた。

これまで転炉スラグが畑の土壤改良資材として利用されることはほとんどなかったが、数%のフリーライム (CaO) が含まれるので、土壤酸性改良資材としてもたいへん有効な資材である。その特性は、ホウ素やマンガンを含むため土壤の pH (H₂O) を 7 程度以上まで高めても、微量元素欠乏をきたさないこと、施用直後にはフリーライム、その後はケイ酸カルシウムが効果的に土壤酸性を中和してその効

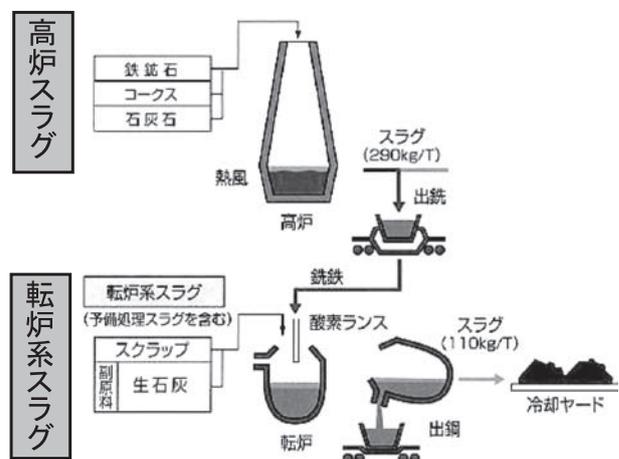


図 1 製鉄所における製鉄プロセス

果が持続することである。ただし、その利用量は10万トン程度で製鋼スラグ生産量の1%にも満たない²⁾。その一因は肥料名称中に「鉍さい」が含まれているためであり、「汚泥」と同様に農業生産者には嫌われる傾向が強い。これらの資材の利点は、熔成汚泥灰複合肥料と同じように転炉で熔融されるため有害成分・重金属類を含有しないこと、製鉄所で徐冷後に粉碎処理を施すのみであるので、安価に供給できることである。なお、転炉スラグの土壤酸性改良効果については別途解説したい。

高炉スラグには皆無であるが、転炉スラグでは1~2%、脱リンスラグでは3~4%のリン酸が含まれている。ク溶性リン酸含有量3%以上の脱リンスラグについては、肥料取締法で鉍さいりん酸質肥料として公定規格が設けられているが、現状でのほとんど利用されていない。

2. 製鋼スラグ(転炉スラグ・脱リンスラグ)中のリン酸の肥効

脱リンスラグ中のリン酸の肥効と土壤酸性改良効果について検討した。なお、供試スラグは全リン酸3.98%、ク溶性リン酸3.55%、アルカリ分25.3%、Mn 0.3%、B 80mg/kgであった。pH (H₂O) 6.1の未耕地黒ボク土に、脱リンスラグを全P₂O₅として1.5g/pot、2倍量区の3.0g/potを施用し、1/5000aワグネルポットでヒロシマナを5週間栽培した。

その結果、写真1のように脱リンスラグ区の生育量は対照肥料とした熔リン・過石に対して、標準施用量で60~85%、2倍量区で75~93%、リン酸吸収量は図2のように標準施用量で38~76%、2倍量施用で55~65%であった。

次に、脱リンスラグをpH (H₂O) 4.9の未耕地黒ボク土に1/5000aワグネルポット当たり10, 20, 50,

標準施用量 (P₂O₅: 1.5g/ポット)



2倍量施用 (P₂O₅: 3.0g/ポット)



写真1 脱リンスラグ中のリン酸の肥効 (ヒロシマナの生育)

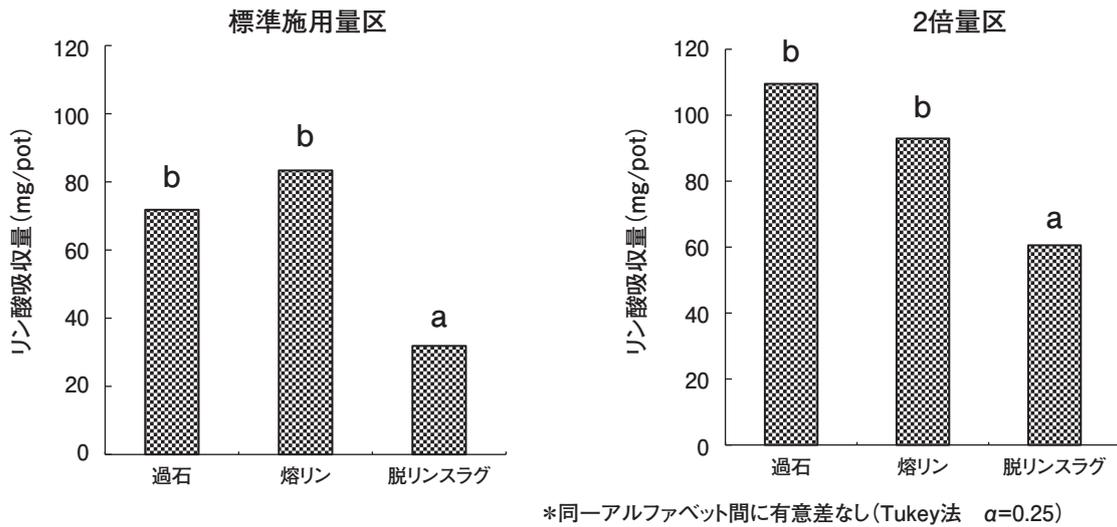


図2 脱リンスラグ中のリン酸の肥効(ヒロシマナのリン酸吸収量)

100, 200g (0.5~10t/10a 相当量) 施用し、ヒロシマナを5週間栽培した。対照区として、同量の転炉スラグ区、苦土カル区を設けた。各試験区に、窒素とカリウムをそれぞれ N : 0.7g、K₂O : 0.7g 施用した。苦土カル区にはリン酸肥料として熔成リン肥(熔リン)を P₂O₅ として 1.5g 施用したが、脱リンスラグと転炉スラグ区にはリン酸肥料を施用しなかった。各試験区のリン酸施用量は表1のとおりであり、

表1 供試資材のリン酸含有量と試験区間のリン酸施用量

資材名	リン酸含有量 (%)	資材の施用相当量 (t /10a)				
		0.5	1.0	2.5	5.0	10.0
		リン酸施用量 (P ₂ O ₅ g/pot)				
脱リンスラグ	3.98	0.4	0.8	2.0	4.0	8.0
転炉スラグ	2.47	0.2	0.5	1.2	2.4	4.9
苦土カル	0	-	-	-	-	-
+熔リン	20.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

脱リンスラグ



転炉スラグ



苦土カル
+
熔リン



写真2 脱リンスラグと転炉スラグ中のリン酸の肥効(ヒロシマナの生育)

脱リンスラグと転炉スラグ区では 2.5t/10a 以上施用区で苦土石灰・熔リン区中のリン酸とほぼ同等(転炉スラグ区)あるいはそれを上回る(脱リンスラグ区)。

写真 2 のように、脱リンスラグと転炉スラグ区の 0.5, 1.0t/10a 区では、十分な土壤酸性改良効果が得られず、ヒロシマナの生育は不良であったが、2.5t/10a 施用区以上では良好に生育した。一方、苦土石灰区では 0.5, 1.0t/10a 区の生育はきわめて良好であったが、2.5t/10a 区以上では、両スラグ区より不良となった。栽培跡地土壤の pH (H₂O) とヒロシマナの乾物生育量の関係を示す図 3 から明らかなように、各資材の土壤酸性矯正力は、苦土石灰 > 転炉スラグ > 脱リンスラグであった。ただし、苦土石灰区では高 pH 区で生育量が低下したのに対して、脱リンスラグ区では pH (H₂O) 7 以上でも低下しなかった。各資材区のリン酸吸収量は、図 4 のように生育量とほぼ同等の傾向にあった。0.5, 1.0t/10a 区では苦土石灰区が圧倒的に多かったが、5, 10t/10a 区では脱リンスラグ区で最も多く、転炉スラグ区と苦土石灰区ではほぼ同等であった。すなわち、脱リンスラグと転炉スラグ 2.5t/10 以上施用区では土壤酸性改良資材としてスラグを利用すれば、リン酸肥料を全く施用しなくても、苦土石灰・熔リン区と同等あるいはそれ以上のリン酸肥効を得られることがわかる。

図 5 にヒロシマナ中のホウ素とマンガン含有量を示す。脱リンスラグと転炉

スラグ区のホウ素含有量はスラグ施用量にかかわらず、10~15mg/kg であった。一方、苦土石灰・熔リン区では両スラグ区より低く 5mg/kg 程度であり、かつ pH の上昇に伴い減少する傾向にあった。マンガン含有量は資材間で著しい相違が認められ、施用量にかかわらず脱リンスラグ > 転炉スラグ > 苦土石灰・熔リンであった。両スラグ区では施用量の増加による pH 上昇に伴いマンガン含有量が低下したが、10t/10a 施用区でも 200mg/kg 程度以上が確保された。一方、苦土石灰・熔リン区では施用量にかかわらず 100mg/kg 程度を推移した。苦土石灰・熔リン 2.5t/10a 施用区以上でヒロシマナの生育が悪くなった原因の一端はホウ素・マンガン含有量低下と考えられる。

このように、脱リンスラグと転炉スラグは酸性改良効果ばかりでなく、作物にリン酸、ホウ素、マンガンを補給する肥料効果を有する未利用資源である。

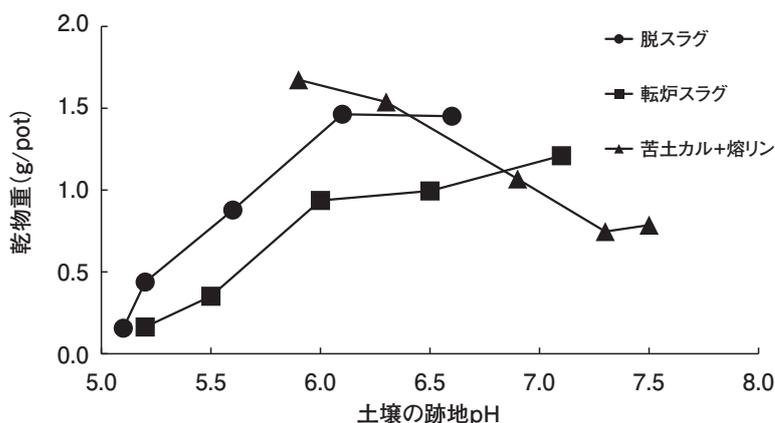


図 3 跡地土壤 pH とヒロシマナの生育との関係

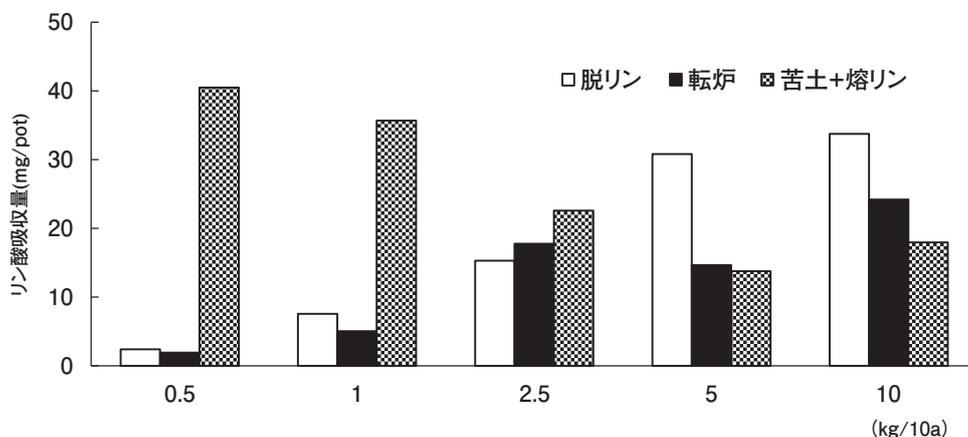


図 4 脱リンスラグと転炉スラグ中のリン酸の肥効 (ヒロシマナのリン酸吸収量)

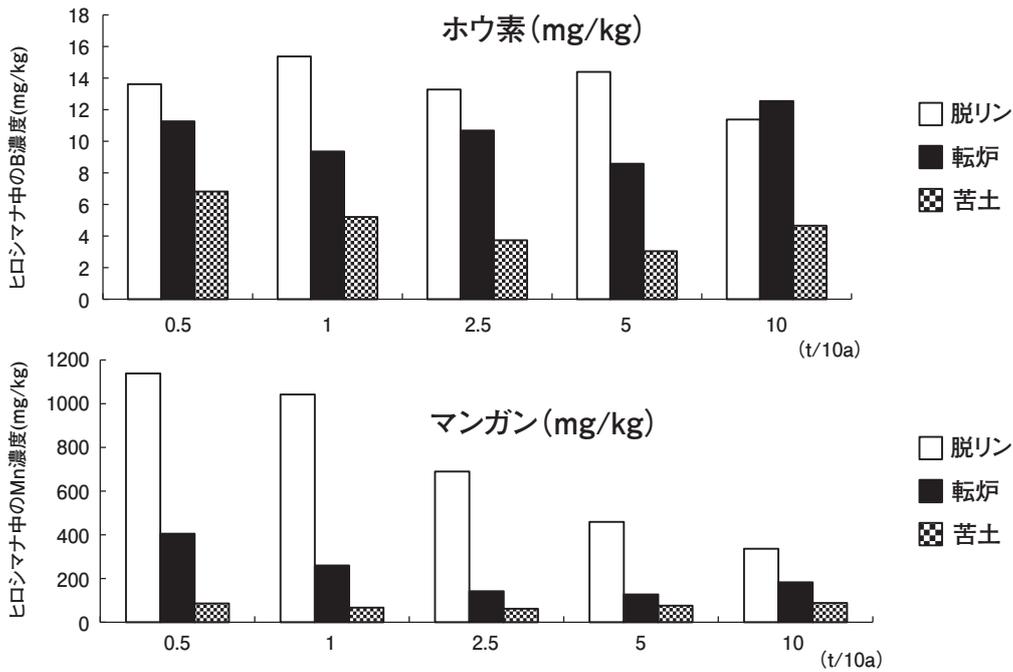


図5 ヒロシマナ中のホウ素およびマンガンの含有率

3. 製鋼スラグからのリン酸分離技術

2008年のリン酸肥料の原料価格高騰を契機に、鉄鋼業界でも製鋼スラグ中のリン酸の資源化に注目が集まるようになった。これまでの製鉄プロセスにおいて、高炉では鉄鉱石中の鉄分が還元されて銑鉄となり、それ以外のケイ素やマグネシウムの氧化物成分が高炉スラグに移行する。その反応をスムーズに進めるために高炉スラグの塩基度 (CaO/SiO₂) が1.3程度になるように高炉に石灰石を投入する。

一方、副産物として得られる高炉スラグ・製鋼スラグのうち、前者についてはその大半がセメント原料・コンクリート骨材などとして有効利用されているが、後者の再資源化率の向上が大きな課題であった。製鋼スラグには約50%のCaOが含まれ、かつ塩基度が4程度と高いので、石灰石の代替物として高炉に再投入し、石灰石使用量の低減を図ることが検討されてきた。しかし、製鋼スラグの高炉循環にはリン酸が厄介者となる。

そこで、図6のように製鋼スラグをリン酸の少

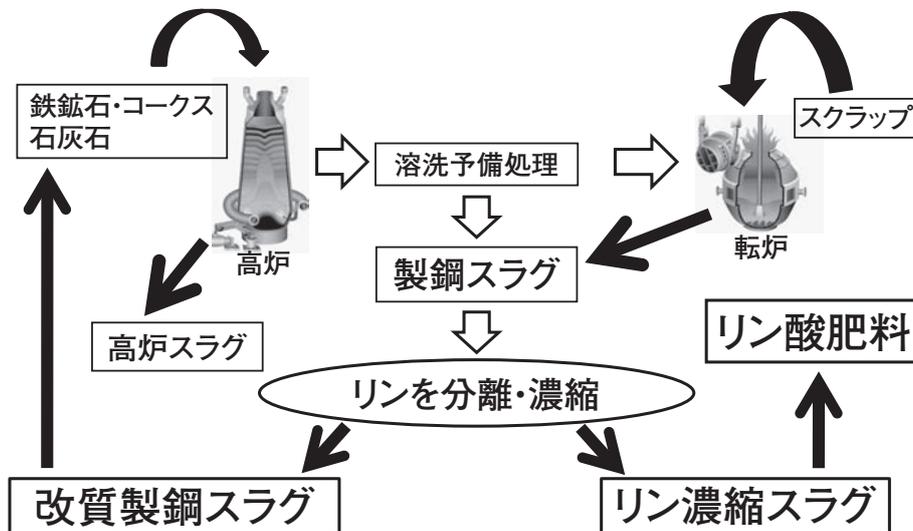


図6 製鋼スラグ高炉循環システムフロー 概念図

表 2 試作リン濃縮スラグの肥料成分含有量

項 目	リン濃縮スラグⅠ	リン濃縮スラグⅡ	リン濃縮スラグⅢ
ク溶性リン酸	14.66 %	28.67 %	15.12 %
水溶性リン酸	0.03 %	0.02 %	< 0.01 %
アルカリ分	26.09 %	42.29 %	39.96 %
ク溶性苦土	0.59 %	0.88 %	1.36 %
ク溶性マンガン	29.62 %	1.29 %	0.47 %

★ 熔リンの公定規格：ク溶性リン酸 17.0%以上

ないリン低減スラグとリン酸を濃縮したリン濃縮スラグに分離する技術を実用化して、前者を高炉でリサイクルし、後者を肥料などとして利用しようとする機運が一気に高まった。そして、2009年には経済産業省に「製鋼スラグの全量高炉循環システム構築に関する調査」検討委員会が設けられ、その検討結果が公開されている³⁾。

それによると、製鋼スラグからのリン酸分離技術としては、常温で強地場下において磁化率の差からリン酸濃縮相を分離する磁気分離法⁴⁾と高温で炭素、合金などの還元材を用いてリン酸をメタル層に濃縮する高温還元法の2種類に大別される。さらに、高温還元法は処理温度の高い熔融還元式と低い固体還元式に分けられる。高温還元法により生成したリン鉄などのメタル相を酸化精錬してリン酸をスラグとして回収する。リン酸濃縮スラグ中のリン酸含有量は磁気分離法で11%、固体還元+酸化精錬法では20~30%に達する。

いずれも実用化可能な応用研究段階の技術であり、一部ではリン酸濃縮スラグの肥料としての利用研究が進められている。なお、検討委員会では固体還元+酸化精錬法によるサンプル試作実験を行い、

表2のような組成を有する3種類のリン濃縮スラグを得ている。今後、有望なリン酸資源化技術となることが期待される。

参考文献

- 1) 一般財団法人日本鉄鋼協会：粗鋼生産速報、2013
<http://www.jisfor.jp/data/seisan/index.html>
- 2) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグ統計年報（平成24年度実績）、2013
<http://www.slg.jp/statistics/report.html>
- 3) 経済産業省製造産業局：製鋼スラグの全量高炉循環システム構築に係る調査検討委員会報告書、2010
http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/research/h21fy/21fy2203-1_cjc/21fy2203-1cjc_jfe.pdf
- 4) 横山一代・久保裕也・森一広・岡田秀彦・竹内秀次・長坂徹也：強磁場を利用した製鋼スラグからのリンの分離回収、鉄と鋼、92、41-47、2006

現場における病害管理(39)

顕微鏡により何が見え、
何が分るか (その1)

(助)関西グリーン研究所 所長
農学博士 一谷多喜郎

1. はじめに

これまでに、本誌では肉眼とルーペによる芝草の生理障害¹⁾や病害^{2, 3)}の診断について述べ、さらに顕微鏡活用の重要性⁴⁾を強調してきた。その後、いくつかのコース管理部に顕微鏡が購入されたが、何ヶ月も経たないうちに全く使われなくなった場合が多かった。顕微鏡による病害診断には、確かに相当な慣れと深い植物病理学的な知識が求められる。顕微鏡診断は病原菌と植物の組織や細胞との区別にはじまり、さらに植物体に侵入している病原菌のさまざまな形態を把握することへと進む。しかし、このような技術の習得には、長時間にわたるためみない努力が必要である。

このようなことで、コース現場での顕微鏡の活用には大きな障害があるわけである。最近の筆者は、数々の困難な問題を抱えているコース現場のグリーンキーパー（以下、キーパー）と顕微鏡の使用は手慣れた日常業務になっている試験研究機関の専門家が最初は電話などでやり取りを行い、そのうちに両者の共同作業へと発展して行くことがむしろ重要である考えるようになってきた^{5, 6)}（図1）。しかし、残念ながらこの共同作業はまだ余り

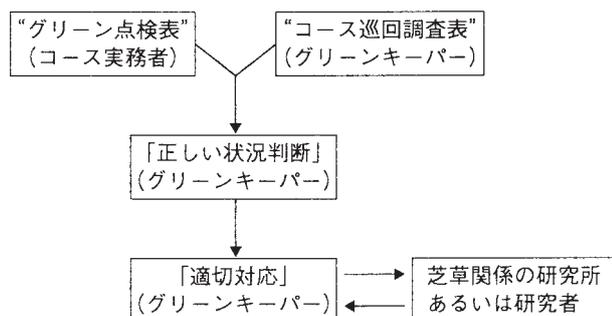


図1 コース現場と試験研究機関とのやり取り

行われていない。ここでは、顕微鏡というものは、①単なる病害診断の道具に止まらず、殺菌剤散布の要否が分る、②病勢まで明らかにでき、殺菌剤を選んで何時対応したらよいか分かり、③殺菌剤の効果判定もできる、④芝生の病気からの回復程度まで明らかにできる、⑤芝草病害の専門家とキーパーが交流することにより相互の資質向上に役立ち、やがて病害の発生予測、予防・治療技術の発展にもつながる、という威力のあるものであることについて述べたい。このような、コース現場と専門家との共同作業が顕微鏡診断の過程で広まっていくことを期待したい。

2. 病勢と病原菌の生育・生存形態との関係

病害に対する防除効果をあげるためには、罹病組織中における病原菌の生育・生存形態を観察・記録し、これらの形態の検出頻度から病原菌が現在生育中であるか、耐久生存状態にあるのかを把握し、病勢を正確につかんでおく必要がある。ピシウム病菌や炭疽病菌、ゾイシアデクライン菌(コウライシバ立枯病菌)の病勢と病原菌の生育・生存形態との関係を殺菌剤散布前後に調べた結果を紹介する(表1)⁷⁾。

なお、表1の試験は播種後養生中のベントグリーンに発生したピシウム病、使用中の本グリーンの炭疽病、細葉のコウライシバが張られた使用中のフェアウエイのゾイシアデクラインについて行った。無処理区は設けなかったが、各病害の発生初期に鏡検して病原菌の生育・生存形態とその出現頻度を記録し、殺菌剤散布後の効果が現れた頃に再び病原菌の生育・生存形態を観察・記録し、殺菌剤散布前の結果と比較した。表1から、ピシウム病菌の場合は、適切な殺菌剤散布後に生育形態である菌糸や胞子の

表1 ベントグリーン及びフェアウェイにおける芝草病害の病勢と病原菌の生育・生存形態との関係

病名 (宿主)	病勢* (殺菌剤散布**))	生育・生存形態 (出現頻度***)
ピシウム病、苗立枯病 (クリーピングベントグラス)	+++ (前)	菌糸、遊走子のう (++++)
	- (後)	卵孢子 (+)
ゾイシアデクライン (コウライシバ)	+++ (前)	菌糸、偽柔組織、発達した菌足 (++++)
	- (後)	断片化菌糸、部分的消失した偽柔組織や菌足 (++)
炭疽病 (クリーピングベントグラス)	+++ (前)	菌糸、付着器、分生子盤、剛毛、分生子 (++++)
	- (後)	分生子盤、剛毛 (+)

* +++ : 10㎡以上の被害面積 / 100㎡、- : 外見上健全で被害を認めず。

** 前 : 発生初期～進展期、後 : 治癒期

*** +++++ : > 50 視野 / 200 視野、++++ : 25 ~ 49 視野 / 200 視野、++ : 10 ~ 24 視野 / 200 視野、+ : < 9 視野 / 200 視野 (以上、全て 400 倍で観察)

うは認められなくなって、耐久生存形態の卵孢子が少量残存していた。一方、ゾイシアデクライン菌(立枯病菌)や炭疽病菌では、病気の蔓延期に形成された菌糸、菌足、偽柔組織、分生子盤、分生子など各種の生育形態が崩壊、消失する衰退傾向にあり、これらの数は全体的に減少していた。

このようにして、殺菌剤の適正散布前後における生育・生存形態の顕微鏡観察結果から病原菌の動向を知ることができ、活動的な場合には治療的な殺菌剤を用いるなど病原菌の活性に合わせ殺菌剤の選択ができる。さらに、殺菌剤散布後に病勢が落ち、芝草が病気から回復してきている程度も顕微鏡下で明らかにすることができ、芝生を病気から回復させる方策が立てられるわけである。

3. コース現場で、顕微鏡により実際に何が見え、何が分かるのか

顕微鏡検査(鏡検)は専門家にとっては手慣れた日常業務で、この観察結果をコース現場で活用するのはキーパー自身である。ここで、冒頭で述べた共同作業(図1参照)が立派に成り立つものと思われる。表1の試験結果を、実際に使われているベントグリーンに発生した炭疽病と赤焼病に当てはめてみると、以下のようになる。

1) 炭疽病の場合

ベントグリーンに炭疽病のような症状が急に発生し(図2)、数日のうちに激化していった(図3)。

図2の比較的初期段階のサンプルが直ちに専門家に送られ、同時にキーパーによる自己診断

後に殺菌剤散布が行われた。

サンプルを受け取った専門家は罹病組織を鏡検し、分生子盤が数多くの分生子を形成し(図4、矢印)、飛散させている(図5)のを観察した。これらの分生子は葉面あるいは葉鞘上で発芽し、付着器を形成していた【(図6)矢印は付着器、(図7)はその拡大】。以上の専門家による観察結果から、本症状は炭疽病であると同定された。図2の比較的初期の段階で多量の分生子の形成が見られ、飛散して葉面や葉鞘上で発芽して付着器を形成しており、感染、伝播が繰り返していることが明らかになった。そこで、専門家はキーパーに治療効果が高い殺菌剤による緊急防除を求めることになった。

ここで、キーパーは自己診断と専門家の顕微鏡による診断結果との違いを比較検討することになる。①両者の診断に違いがなく、その後芝生が病気からの回復に向かえば(図8、9)経過観察をする。その後、専門家による再度の鏡検により最早分生子も、場合によっては付着器も認めなければ(図10)、キーパーが取った緊急対策が有効であったということになる。②両者の診断結果に違いがあり、さらに本病の進行が認められれば、キーパーの診断は間違っていたということになる。専門家がすすめた防除対策を参考にし、そのコースに最良の方法で緊急対応をし直す。この結果、本病が停止あるいは若干回復の兆候が見られれば(図8、9参照)、専門家による再度の鏡検により病勢の落ちていることが判明する(図10参照)。



図 2

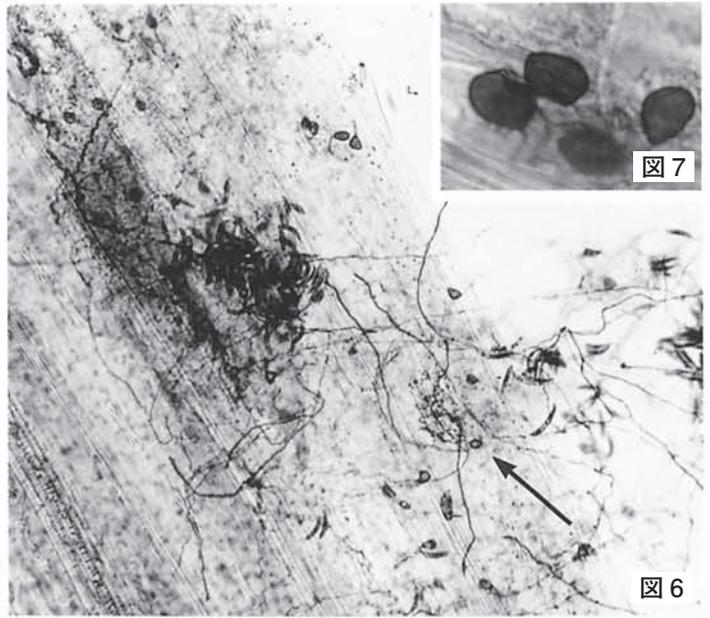


図 7

図 6



図 3



図 8

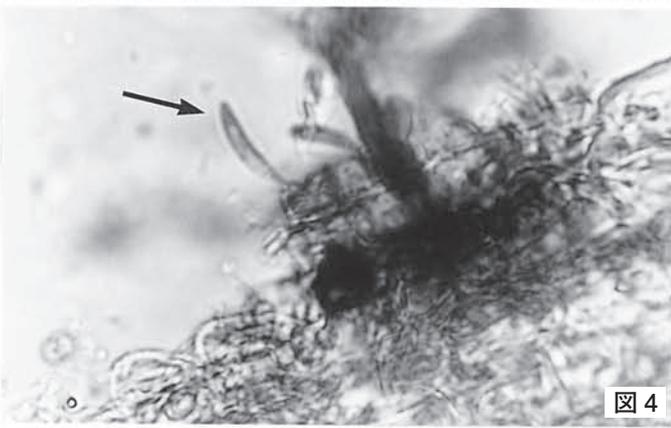


図 4



図 9

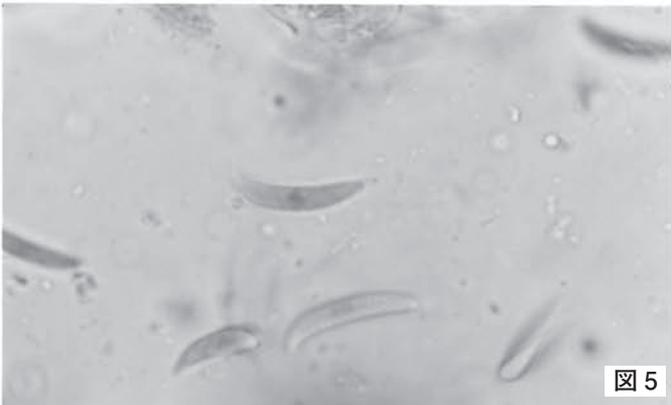
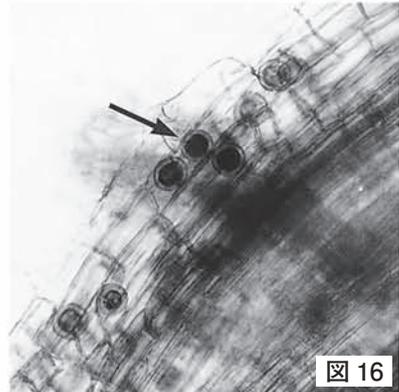
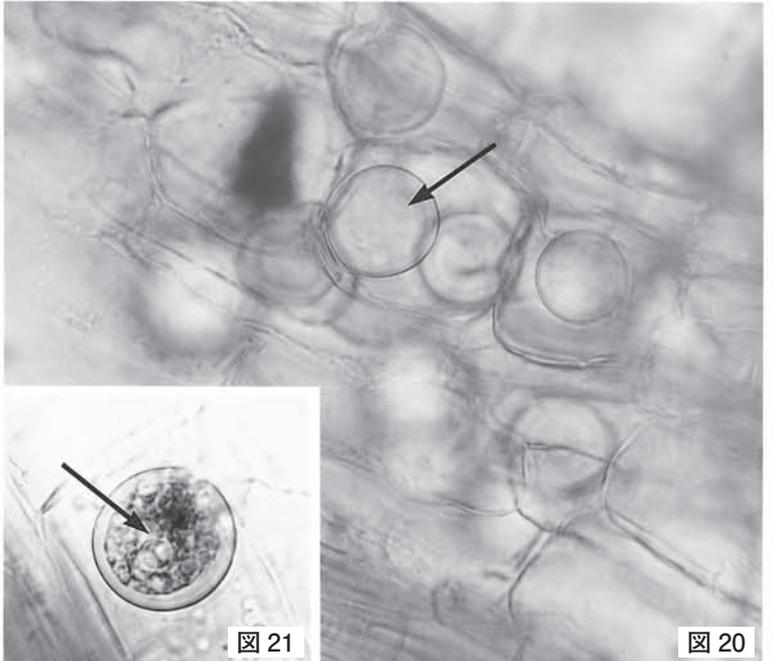
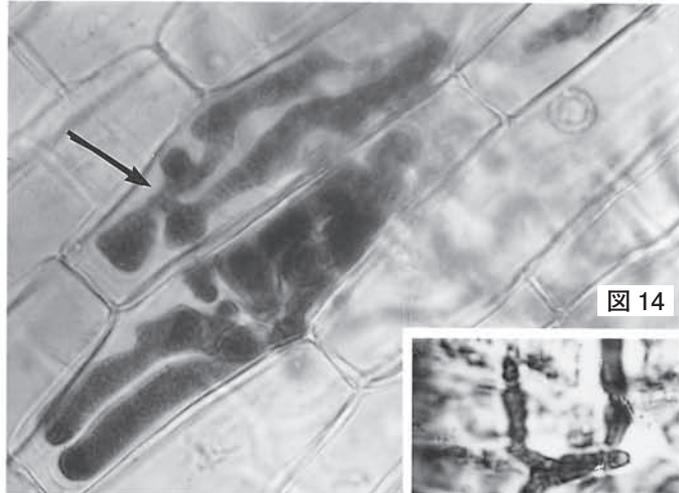
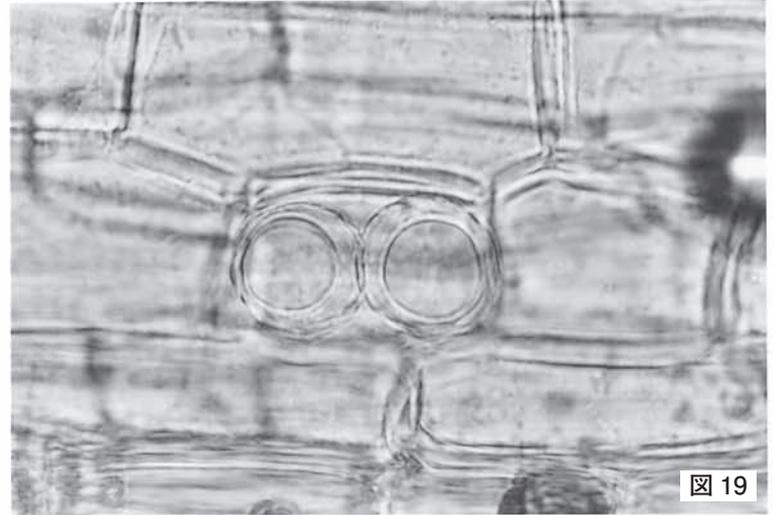
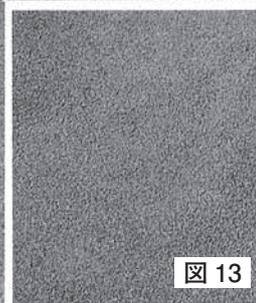
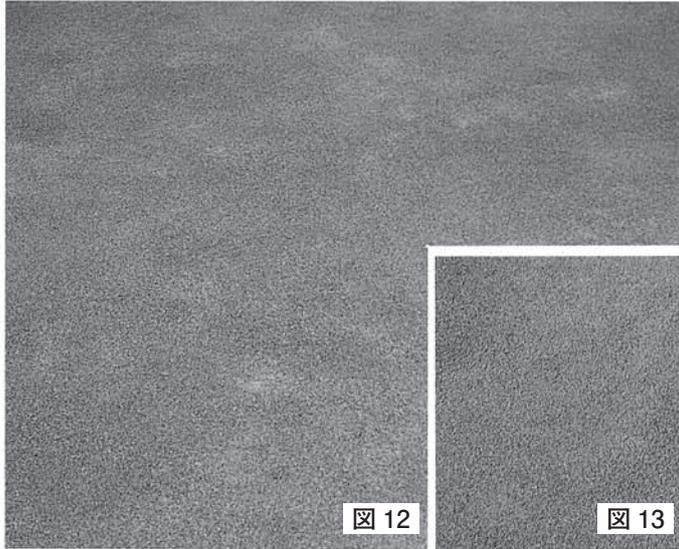


図 5



図 10



2) 赤焼病の場合

— ベントグリーンに赤焼病のような症状が急に発生（図 11）、一両日中に激化して行った（図 12、13）。

— 図 11 の比較的初期段階のサンプルが直ちに専門家に送られ、同時にキーパーによる自己診断後に殺菌剤散布がなされた。

— サンプルを受け取った専門家は罹病組織を鏡検し、胞子のう（図 14、矢印）、まれに伸展する菌糸（図 15）や局在する卵胞子（図 16、矢印）を認めた。以上の結果、さらに2、3の植物病理学的観察を追加し、専門家は赤焼病であると同定した。図 11 の段階で特に胞子のうが認められることに注目し、過剰散水や降雨が続くと多量の遊走子を形成し、激しい感染・蔓延が繰り返されると考えた。そこで、キーパーに対し早急に治療効果が高い殺菌剤による緊急防除を求めることになる。

— ここで、上述の炭疽病同様、キーパーは自己診断と専門家の診断結果を比較検討することになる。①両者の診断結果に違いがなく、その後、芝生が病気から回復に向かえば（図 17、18）、経過観察後に再び専門家に鏡検を依頼する。その結果、菌糸はもちろん最早遊走子のうも認められず、卵胞子は局在していて（図 19）、時々卵球の内容物が消失（図 20、矢印）したり、顆粒状（図 21、矢印）になったりしている。これで、キーパーが取った緊急対策が有効であったことが分る。②両者の診断結果に違いがあり、さらに本病が進行しているならば、キーパーの診断は間違っていたことになる。早速、専門家がすすめた防除対策を参考にし、そのコースにとって適切な方法で緊急対応をしなければならない。その後、本病が停止あるいは若

干回復が見られた場合（図 17、18 参照）には、再び専門家に鏡検を依頼すれば、図 20、21 のように病勢が低下していることが判明する。

4. おわりに

芝草病害の専門家にとって顕微鏡観察は手慣れた日常の業務で、この観察の成果を活用するのは日々困難な問題を抱えているキーパー自身である。病害診断の過程で両者の共同作業が成り立てば、顕微鏡は、①病害と生理障害が見分けられる単なる診断の道具に止まらず、殺菌剤散布の要否が分る、②病勢が明らかになって使うべき殺菌剤の種類も散布のタイミングも明確になる、③殺菌剤の効果判定もできる、④芝生の病気からの回復状況も把握できる、⑤芝草病害の専門家とキーパーが交流することにより、相互の資質向上に役立って病害の発生予測、予防・治療技術の発展にもつながる、と考えられる。

5. 文献

- 1) 一谷多喜郎 (2006) : 肉眼とルーペによる芝草生理障害の診断. グリーンニュース 71 : 13-19.
- 2) 一谷多喜郎 (2006) : 肉眼とルーペによる芝草病害の診断 (その 1). 同誌 72 : 13-21.
- 3) 一谷多喜郎 (2006) : 肉眼とルーペによる芝草病害の診断 (その 2). 同誌 73 : 13-18.
- 4) 一谷多喜郎 (2002) : 芝草病診断・防除のための顕微鏡使用のすすめ. 同誌 62 : 2-6.
- 5) 一谷多喜郎 (2008) : 芝草の生理障害と病害—診断と防除対策. ソフトサイエンス社. 157 頁.
- 6) 一谷多喜郎 (2012) : ゴルフ場と研究所の病害の診断と防除に関する連絡試験の試み. グリーンニュース 87 : 6-11.
- 7) 一谷多喜郎・宮島葉子・山田 明 (1998) : 芝草病害の病勢と罹病組織中における病原菌の生育・生存形態との関係. 芝草研究 27 : 112-113.

【おわびと訂正】

2013年8月9日に発売いたしました「グリーンニュース 90号」におきまして、記載に誤りがありました。正しくは以下の通りです。

表紙および P8 現場における病害管理 (38) のサブタイトル
 (誤) 地上病害はどのような時に発生するのか
 (正) 地下病害はどのような時に発生するのか

読者の皆さまならびに関係各位にご迷惑をお掛けしましたこととお詫びするとともに、ここに訂正させていただきます。

グリーン考現学(23)

スポーツターフは国際大会によって進化する —横浜国際総合競技場（日産スタジアム） の芝生造成計画の実録と今後への提言—

東京農業大学造園科学科 教授 近藤 三雄



1. はじめに

2020年東京オリンピック招致が決まった。ゴルフ場はともかくとして、サッカー場や陸上競技場等のスポーツターフは、国際大会が招致され、その舞台となることによってこれまで進化してきた。

具体的には1964年に開催された東京オリンピックしかり、2002年のサッカーワールドカップ日韓共催大会しかりである。ただし、その成果の記録や記憶は、極、一部の関係者が所有する報告書の類に収載されているだけで進化の証しとなった検討内容等に関しては世間には知られていない。昔のことならいざしらず、2002年のサッカーワールドカップの開催を主たる目的で整備された競技場でも完成後にその維持管理に係っているグリーンキーパーですら、どのような検討経過の末、いかなる計画理念の下、具体的な施工法や芝草の種類が決定されたのか、知らされていない。他の競技場でも同様なケースが圧倒的に多い。

本稿では2020年東京オリンピック開催決定を機に、後学の関係者の学習資料として前回の東京オリンピックの関連事象にも簡単に触れ、筆者が中心になって計画立案を行った横浜国際総合競技場（日産スタジアム）の芝生ピッチがいかなる経緯、背景、さらにはどのような内容が具体的に検討され造成されたかについて紙幅の許す限り、その記録を書き残すことにした。

2. 関係者による周到な検討がなされた1964年オリンピック東京大会競技施設用芝生

当時、日本の芝草や緑化の代表的研究者であった本間啓（東京大学）、本多侓（千葉大学）、小沢知雄

（東京農業大学）、北村文雄（東京大学）の後の4教授が中心となり、草種や植栽基盤の造成など協議施設用芝生に関する詳細な検討がなされ図1に示す様な土壌断面が決定され、施工された。その詳細については『本間啓・本多侓・小沢知雄・北村文雄ほか：オリンピック東京大会競技施設用芝生に関する研究報告書、No.2、1963』にとりまとめられているが、当時の直接関係者以外は所有しておらず、容易に閲覧できないのが残念である。

3. 横浜国際総合競技場芝生の造成計画の記録

1) 計画立案の主犯となったいきさつ

横浜国際総合競技場は、当時の建設者の事業であった「鶴見川多目的遊水池」の上部を利用し、横

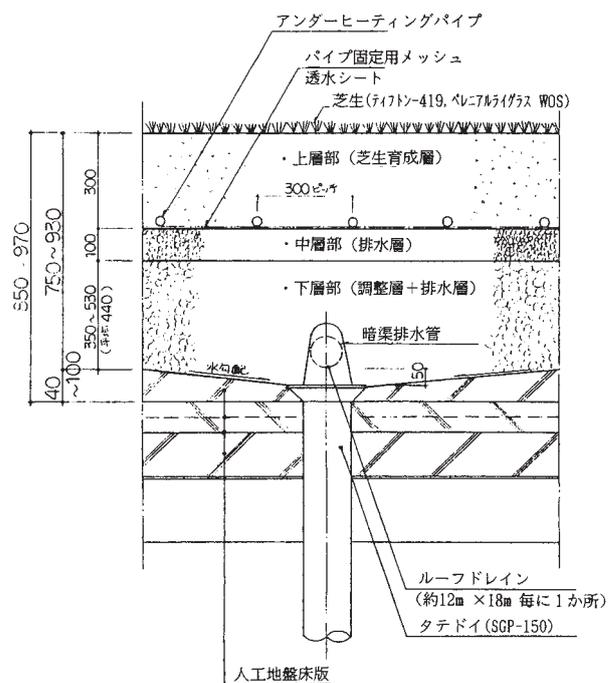


図1 駒沢オリンピック公園競技場床土構造断面図

浜市が横浜総合運動公園整備事業の中で、その公園の中核施設として施工費 600 億円以上をかけ建設された。(写真 1)

1994 (平成 6) 年に建設に着手し、1997 (平成 9) 年 10 月に竣工した。日本最大規模の 7 万人以上の観客を収容可能で、その観客席の 4 分の 3 を大屋根が覆っており、芝生ピッチは人工地盤状となっている。2002 年開催のサッカーワールドカップの決勝戦の舞台となることも想定されていた。そのこともあり、芝生の造成計画にあたっては、慎重かつ厳密な対応が求められ、事前に「横浜国際総合競技場芝生フィールド整備検討委員会」が 1995 (平成 7) 年に設置され、筆者が、委員長役を担った。

そのいきさつは、その前年、横浜市の先輩格の球技場にあたる三ツ沢球技場(ニッパツ三ツ沢球技場)の芝生の生育状態が極めて悪いとスポーツ新聞等で大きく叩かれた。筆者はそれまで一切関わっていなかったが、その応急的な修理計画の担い手として、かつぎ出され、挙げ句の果て、マスコミ関係者が多く詰めかける場で弁解役を務めさせられた。何とか事を収め、ホッとしている折に、今度は当時、建設途上にあった横浜国際総合競技場の芝生検討委員会の委員長役を懇請された。世界中のサッカーファンが注目している芝生ピッチの造成、うまくいっても小生が評価されることはなく失敗すれば全責任を負わなければならないと解っていたので固辞した。その後、あの手、この手で責められたが固辞し続け、最後に大学の後輩にあたる市の担当者から「助けて欲しい」という真摯な一言で了解せざるを得なくなった。それと引き換えに委員会の委員・幹事役の



写真 1 横浜総合運動公園の全容

人選にあたっては、筆者の意向通りにして欲しい旨を伝えた。概ね、その様になった。

2) 事前説明と現場見学会での困惑

市側との事前の協議の席上、芝種としては「西洋芝の 3 種混合」を採用して欲しい。人工地盤ではあるが、排水層・土壌層として合計 80~90cm を確保してあるので安心して欲しい旨の 2 点が強調されたため、「芝種については、猛暑となる夏季のことを考慮すれば、バミューダグラスをベースに、その上にペレニアルライグラスをウィンター・オーバー・シーディングする方式が望ましいと思うが、いずれ委員会で詳しく検討したい。植栽基盤の厚さは排水層・土壌層合わせて 50cm もあれば十分と考えていたので正直、面喰った」と伝えた。80~90cm の植栽基盤を用意するためには、その荷重を支えるために十分な強固な梁や柱にしなければならず、そのために必要以上の鉄筋とコンクリートが投与されたのではないかと正直、訝しく思った。

競技場の建築工事が 6~7 割進んだ段階(写真 2)で現場見学会が催された。その折、瞬時に思ったのは、完成後、現状の建築構造では芝生ピッチ面に風が吹かない、通風がないということであった。そのため年間を通して芝生の蒸散作用が抑制される。夏季、芝生面が高温になり易い。梅雨期には芝生表面が乾燥状態とならず、病虫害も発生し易い。つまり通風がないことによって芝生の健全生育が阻害される恐れもあると感じた。

今から駆体の四隅に孔を開け、通風の改善を図ることができないかと無理を承知で進言した。もちろん実現しなかった。筆者にとっては大変意外なこと



写真 2 横浜国際総合競技場の建設段階

であったが、芝張りも含め全ての工事が完了した段階で現地視察を行った際、芝生面に丁度良い通風が当たることが解り、筆者の心配事の1つは消えた。

3) 事前の周到的環境予測調査

委員会で具体的な整備内容を検討する以前に、そのための判断材料を得るため、事前に①フィールド内温度・気流予測 ②フィールド人工地盤からの空気の導入効果予測 ③人工地盤上芝生面の温度等測定 ④芝生面への日照時間予測等の調査を実施した。また年間の利用想定などの把握も行った。

4) 検討課題の整理

上記の調査結果等を基に委員会での検討課題を以下の5点に整理した。①環境条件に関しては、フィールド内はフィールド外の気温に比べて約5℃程度高くなり、芝生の表面温度は真夏日には40℃を超えることが予測される、そのため耐暑性の大きい芝種の選定、温度を緩和する施設等の検討が必要となる。冬季には、温度の低下やスタンド屋根による日照不足等の影響等が予測され、芝生の生育状態の悪化が想定されるため何がしかの対応が必要である。フィールド内の通風が期待できないことが予測されるため、通風を促す施設の検討も必要であるとした。

②利用条件に関しては、年間100日程度の利用想定がなされており、踏圧に対して強い芝生づくりが必要となる。③芝生条件に関しては、年間を通して安定した常緑状態が確保でき、夏季の高温、冬季の日照不足等の過酷な条件に合った種の選定、陸上競技やさまざまなイベント等にも対応できる回復力のある強い芝種の選定が必要となる。④床土条件に関しては、80~90cmの厚みを考慮した床土構造、雨中のプレーでも水たまりができない排水性の高い構造、プレーに適した表面硬度が維持できる構造等が必要となる。⑤管理施設条件に関しては、さまざま過酷な環境条件に対して、芝生の生育をバックアップする様な施設も必要に応じて検討する必要があるなどとした。

5) 整備の基本方針

上記の検討課題を考慮し、横浜国際総合競技場の整備（芝生づくり）の基本方針として、以下の7点を設定した。①国際レベルの競技に対応できる質の高さを有すること。②テレビ映りを考慮した色の美

しいこと。③人工地盤の環境に適応できること。④大屋根による日陰に適応できること。⑤常緑（エバーグリーン）であること。⑥高い利用頻度に耐えられること。⑦維持管理が容易で、多くの人々が利用できること。

6) 具体的な検討内容

①芝生の造成方式

候補となる造成方式としてa) 寒地型芝生、b) 寒地型カセット芝生、c) 暖地型芝生+寒地型芝草のウィンターオーバーシーディング、d) 暖地型芝生+アンダーヒーティングの4タイプとして、その長所、短所を整理し、本競技場用として最適なものの考察を行った。

その結果、暖地型芝生+寒地型芝草のウィンターオーバーシーディング方式の採用を決めた。その主な理由として、プレーイングクオリティーは、寒地型芝生と大差ない。夏季の高温、通風不足等の人工地盤ならではの過酷な環境条件に対しては寒地型芝生より強く、維持管理が容易かつ確実である。寒地型芝生から暖地型芝生への切替時（スプリングトランジション）の対応が難しい面もあり、ある程度のグランド使用制限が必要であるが、利用の集中する可能性が高い夏季前後の芝生の耐久性は寒地型芝生に比べて優れている。病虫害の発生が寒地型芝生に比べて少ないため、農薬の使用量が少量となる。芝生の著しい生育低下や枯損による芝生をクローズさせるというリスクが寒地型芝生に比べて少ない。などがある。

②芝生の草種の検討

暖地型芝生+寒地型芝草のオーバーシーディング方式の暖地型芝生の草種としては、強い再生力があること、葡萄茎の伸長速度が早いこと、ウィンターオーバーシーディング用草種と相性が良いことを条件に、パーミュエダグラス系から5種、日本芝系から3種を候補に挙げ、さまざまな視点から検討を加えた結果、ティフトン419を選んだ。その理由は、スポーツターフとしての実績があり、確実性が高い。オーバーシーディング用の寒地型芝草との切替（スプリングトランジション）との相性が良い。想定される夏季の高温に最も強い。などによるものである。

オーバーシーディング用の寒地型芝草の条件としては、発芽力と初期生育に優れ、ターフの形成が早いこと、冬季も緑色を保持し、春の緑化（グリーンアップ）が早いこと。病虫害に対する耐性が強いこと。激しい踏圧に耐え、回復力に優れること、夏季に暖地型芝生の再生が容易であることを条件に、ペレニアルライグラス、ラフブルーグラス、トールフェスクの中から、ペレニアルライグラスの中で優れた品種を混播することを決めた。その理由としては、オーバーシーディング用草種として実績があり、確実性が高い。想定される冬季の日照不足に、最も強い。などによる。なお、ペレニアルライグラスの品種についてはベースの芝生となるティフトン419との相性が良いもので、造成（播種）時点で最も優れた性能を有するものを選ぶこととした。

③芝生の植付方法の検討

暖地型芝生（ティフトン419）の植付方法として、播芝工法、大判苗の張芝工法、ロール状苗の張芝工法、洗い芝（水洗い、またはタタキによって土を落とした芝生を張る）工法を候補に挙げ、床土の排水性を損なう恐れが少なく、植付け工事に着手してから竣工、オープニングまでの期間が半年強しかないとを考慮し、洗い芝工法を採用することとした。

寒地型芝草の播種ならびにトランジション（切替え）をいつ、いかなる手法で行うかについて検討した。播種時期は9月中旬～10月中旬頃に何回かに分けて播種することを提案した。トランジション（切替え）は、5～6月の適期に、低刈り（暖地型芝草へ日光の供給）、コアリング（暖地型芝草の根の強化）、パーティカルカット（暖地型芝草の間引き）、施肥（暖地型芝草への養分の供給）を施すことを提案した。

④床土断面構造の検討

床土（植栽基盤）の条件として、芝生の生育面を考慮して、保水性、排水性、保肥性、通気性に富むこと。後述するアンダーヒーティング装置を設置するため熱効率（熱伝導性）に優れることなどを挙げた。プレイ面からは、降雨時のプレイ中に水たまりをつくらない、各種プレイに対応しうる硬度の確保、ボールの弾み、転がり良好であり、ボールマークがつきにくいこと。施工・維持管理面からは施工が

複雑とならず、補修の容易な構造、安価で市場性があり、調達の容易な材料の選定を心がけることなどの点をあげた。

床土断面方式としては、国内外の主としてゴルフ場やサッカー場等で採用されているカリフォルニア大学方式、USGA方式、パーウィックシステム、PATシステム、CELLシステムなど5つの方式について、その性能や長所短所の比較を行った。

その結果、床土の上層部（植栽基盤）は砂（洗い砂）構造とし、厚みは30cmとして全層の砂に保肥性を高めるために改良剤を混合する。砂の粒径は0.25～0.5mmのものが70%前後含まれているものを採用する。

床土断面構造としては、横浜国際総合競技場が人工地盤であるという特殊構造下にあるため、その人工地盤との整合性を考慮することが第一義となり、底板の形状、タテドイ（排水）の活用すると、下層は排水層となり、必然的にUSGA方式に近い構造となる。つまり、上層部の30cm厚の砂層の下に、中層部は層厚約10cmの砂利（粒径1～4mm）を排水層とし、さらにその下、40～50cm厚を2層に分け、排水層・調整層（人工地盤面までのレベル調整）とした。さらに、その最下層部にタテドイへの良好な排水を確保するため、ポリエチレン製多孔管の暗渠

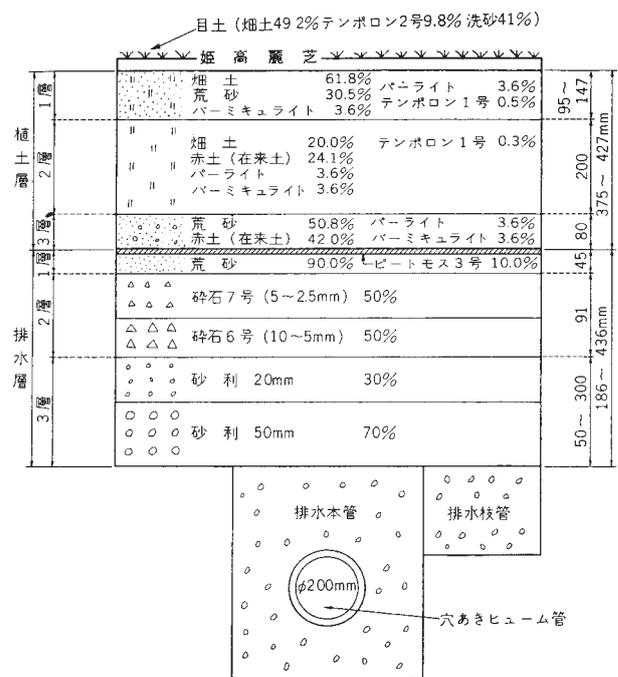


図2 横浜国際総合競技場床土構造標準断面図

排水管を敷設する。

以上、土壌層・排水層を含む植栽基盤としては80～90cmの層厚が洗い砂と砂利で構成される類例のない排水性能抜群の構造となった。(図2)

なお、苦心して計画造成された床土断面構造を竣工後も関係者や利用者が見て解るように、その模型をつくり、しかるべき場所に設置するように指示した。(写真3)

⑤アンダーヒーティング、アンダークーリング等の温度調節設備

横浜国際総合競技場の芝生フィールドは人工地盤上に造成される事に加え、周囲を観客席及び屋根で囲まれているため、夏季は高温化し、冬季は日照不足にともなう低温化も予測される。特にサッカー等の競技は、冬季も使用回数が多く、さらにはテレビ映りの良さも期待されるため生育適温以外の時期にはアンダーヒーティングやアンダークーリングが可能となる温度制御設備の導入が不可欠となる。つまり冬季にはパイプには熱いお湯を通し、夏季には冷水を通し、周年、健全なターフ状態を維持するため地盤の制御を行う。パイプの敷設位置は、やり投げのやり先が地面にささる深さは概ね15cm程度までであることが解ったため、安全率を見込んで30cmの位置とした。もう少し上の位置で施設した方が熱効率上は良いが、致し方なかった。この装置施設に係る経費が1億円内外であったと記憶している。(写



写真3 横浜国際総合競技場床土構造断面構造の模型

真4) 事前に千葉県農業試験場で、アンダーヒーティング、アンダークーリングの設置の有効性を検証するための実験も行った。

なお、併せて芝生面へ通風を促すための送風装置、夏季の日照過多による芝生面への障害を防ぐための日除け装置、芝生面への日照不足を補うための補光装置の効果等についての検討も行った。

⑥芝生の維持管理計画の策定

造成工事終了後の維持管理についても周到的な計画を策定した。7万人収容という日本最大規模であり、さまざまな国際大会の舞台となることを想定し、また、人工地盤上につくられ、全周が巨大なスタンド屋根で囲まれ、その対策としてアンダークーリング設備の導入などの特殊性も鑑み、「国内一を目指す芝生づくり」「最新技術を導入した、新しい管理方式(横浜方式)の確立」の2点を柱とする維持管理目標を設定した。

その目標を達成するために、竣工から1998(平成10)年10月開催予定の国体までの「初期管理計画」とその後の「通常期の管理計画」とに分け、年間に行うべき17項目にわたる作業項目の作業時期や頻度、作業の要点等についてまとめあげた。なお、効果的な管理作業を行い、その実を上げるために、折々、「気象調査」「土壌調査」「芝生育成調査」「プレーイングクオリティー調査」「アンダーヒーティング調査」を励行することも指示した。なお、その後の検討でテレビ映りを考慮し、幅5～6m前後で、刈る方向を変えゼブラ模様にしたのは一興であった。(写真5)

⑦竣工後のワールドカップ等で評価



写真4 アンダーヒーティング用パイプの敷設状況

以上、竣工後、既に丸16年が経過した横浜国際競技場（日産スタジアム）の芝生ピッチの造成計画について、筆者の記憶と記録「横浜市緑政局横浜総合運動公園整備室・（財）都市緑化技術開発機構：横浜国際総合競技場フィールド・トラック整備検討調査業務委託芝生フィールド整備検討委員会報告書平成8年3月」を基に要点を書き連ねた。かつて、また今に至るまで、芝生地造成に関して少なくとも日本国内で、これだけ綿密な検討がなされ、計画された事例はないと確信している。

そのこともあり、サッカーワールドカップの前年に開催されたコンフェデレーションカップの試合では、時間降雨量40mmに近いゲリラ豪雨の中でも、排水性能抜群の仕様により芝生ピッチに水が溜まることなく試合が挙行され、選手を驚嘆させた。また2002年サッカーワールドカップの決勝戦が終了した後、FIFA（世界サッカー連盟）の会長から「世界一の芝生ピッチ」と称賛され（写真6）、その後もグリーンキーパー諸氏の努力もあり、Jリーグの「ベストピッチ賞」に数度輝くなど、大きな評価を得ている。これらは管理作業にあたっているグリーンキーパー諸氏のお陰でもあるが、その前に本稿でその一端を紹介したように周到な造成計画の賜物でもあることに間違いない。総勢22名にも及ぶ委員の英知の成果であるが、その知恵と技術の結集に意を注ぎ筆者を支えてくれた藤崎健一郎（日本大学）、山田孝雄（東洋グリーン）、岡澤信一（横浜市）、小東理人（都市計画研究所）の4氏の功績は大であっ

た。

なお、極めて大事なことであるが、横浜国際総合競技場の建物の計画段階で、併せて芝生ピッチの造成計画も一体的に検討されていれば、無駄なく、より良いものが、経費的にも負担が少ない形で実現できたと正直思う。この点は今後に生かすべきである。また、竣工後16年が経過し、素人目にも建築躯体にもほころびが感じられ、今後の補修工事が経済的にもさぞかし大変であろうと危惧している。

おわりに——東京オリンピックに向けて 新国立競技場への懸念——

基本構想国際デザイン競技の結果、新国立競技場計画のデザイン案が決定し、多くのマスコミに取り上げられた。イラク出身の女性建築家の作品である。今後、彼女が具体的なデザイン案も監修するという。新聞等で初めて流線形の斬新なデザイン案を見た時唖然とした。神宮外苑の風致地区に8万人収容のあの種の巨大建築物は似つかわしくない。また、肝心の芝生ピッチを造成するための条件がどれほど考慮されているのか訝しく思った。

建築物が街づくりや周辺の環境や景観と関係なく、唯我独尊的に屹立する時代は終わった。和風建築の良さを生かした外観とし、震災時には安全・安心な避難場所として機能し、しかも芝生ピッチを造成するのに理想的な条件を有した構造に検討し直すことを強く要請する。芝生あつての競技場であることを忘れてはならない。



写真5 テレビ映りを考慮した芝生ピッチのゼブラ模様

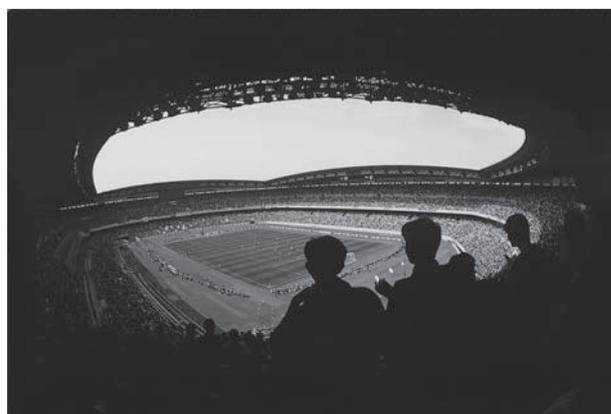


写真6 2002年サッカーワールドカップの開催模様

自然を問い直す (7) 風景はビジネスと 両立するか

森林ジャーナリスト 田中 淳夫



美しい風景は、人々を魅了する。それを見た時の感動は、癒される、心が洗われる、目が覚める……などと多様な表現をされてきた。

一度そんな風景を見たら、心に焼きついてよい思い出になるだろうし、美しい風景がどこそこにあると聞けば、訪れたいくなる。

美しく感じる風景は千差万別だが、その要素の中に自然の地形とともに動植物が含まれることは少なくない。とくに草本類や樹木、それらが作る森林は非常に重要なアイテムである。

また規模は小さくなるが、都市の緑化なども、風景づくりの一つだろう。コンクリートジャングルを緑で多少とも覆うことで、人々の目に優しさを与えてくれる。

一方で農業や林業は、目的は食べ物や木材などの生産行為であるが、その規模ゆえに風景づくりにつながる。美しい風景をつくることと農林産物を効率よく生産することは関係ないように思いがちだが、実のところどうだろうか。

風景には、見た目だけでなく、気象や生態系などの環境も含まれるかもしれない。すると環境と経済の相関問題に置き換えて考えることも可能だ。すると現代の緑にとって大きなテーマになる。両者は相反しているように思われがちだが、意外と親和性を持っている。

ただ、その風景は誰が作ったのかという点に思いを馳せると単に美しいでは済まなくなる。美観が経済性を持ち始めるからだ。とくに風光明媚な土地は、観光地として賑わうことも多い。するとビジネスとして風景が利用される。そうした観光業は、いわば「風景産業」と言えるだろう。

そんな視点から農林業や公園、ゴルフ場などの緑

について考えてみたい。

「林業芸術論」論争を考える

「経済と風景」について考える際、参考になりそうな面白い論争がある。1916年（大正5年）、大日本山林会の会報402号に林学博士の田村剛が「林業芸術論」を発表したことに始まったものだ。すると、同じ林学博士の上原敬二が「林業非芸術論」を投稿してきた。こちらは、翌年の411号に掲載された。

林業は、いうまでもなく木材などの生産を担う産業だ。そこに芸術という名の風景づくりを論じた。ここにちょっと不思議な「林業は芸術か否か」論争が起きたのである。

もっとも、会報に発表された一文は論文とは言えない。田村の書き方は、どちらかと言えばエッセイに近いし、それを受けた上原も田村の意見にかみついたというよりは、友人の一文に柔らかく反論したような内容である。しかし、両者の意見を現在読み返すと、なかなか含蓄がある。

私が注目したのは、経済（林業）に風景（芸術）という精神的な価値を持ち込めるか、という点だ。そして芸術は生産行為に影響を与えるか否かについても考察するきっかけになった。

田村と上原について紹介すると、彼らはともに東京帝国大学農科大学林学科の出身であり、日本に林学を根付かせた本多静六博士に造園学を学んだ。そして、3人とも都会の大面積緑化の先駆けとも言える明治神宮の森づくりに参画している。

その後田村は、国立公園の制定に関わり「日本の国立公園の父」と呼ばれるようになる。一方上原も、東京高等造園学校を設立して「日本の造園学の創始者」と呼ばれている。つまり、どちらも林学とともに

に造園学の泰斗なのである。

つまりこの論争は、林業論争だけでなく、造園学のあり方とも関わっている。

林業と造園、そして建築

さて、各々の意見を要約してみよう。

まず田村の「林業芸術論」では、林業と造園は、どちらも同根、兄弟だとした。

造園の始まりを、実用になる植物を遠くの山から採取して人間の居住地近くに移植したことと考えた。世話することで、育ちやすく収穫量も増やし、利用しやすくするためだ。

すると野菜や果樹、薬草など実用の植物にも美しい花があり、面白い枝振りのものが好まれるようになる。それが美観を生み出し始めた。やがて実用から離れて美観だけを目的として栽培するようになる。さらに木々の配置なども工夫するようになるのが、庭園の誕生だとした。実用性より美観を重視した庭園づくりは芸術となった。

やがて庭園は建築と合わせて一つの有機体をなすようになる。西洋は石や煉瓦など幾何学的な素材を使うので、やはり幾何学的な庭が調和するし、木材による日本の建築は自然と調和し、山水式の庭が調和するだろう……。

原始的な林業も、天然林を伐採して利用することがスタートである。しかし木材が不足し始めて、人が木の苗を植え育てる育成林業が登場する。とはいえ実用より美観の追求に走った庭園のようにはなっていない。まだ木材生産が目的である。



洋風に装飾された建築（東京駅）

話は建築の分野にも向かう。建築は実用を目的とする。住んだり仕事の間として使いやすさが重要である。しかし、その中から気品ある美観を発揮する建築物が登場し、実用と美を一致させるようになった。美しい建築物なら、そこに暮らすのも働くのも心地よいし、外観を見て楽しむ意味もある。

そこで林業も、実用の目的を達する同時に、美観を求めたい。ここに林業と造園を握手させ、その感情を融和させるべきだ、と論を展開する。

さらに、日本の近代林業は欧米の知識を吸収して発展したが、ほとんど欧米の精華を吸収しつくした。そろそろ我が国の林業も、日本に合うように取捨選択する必要がある。美的方面にも活躍させ、実用と美の両立をめざすべき……と訴える。

公共建築物が実用に加えて美しく装うように、森林も今少し装飾して国家の品位を保持し、国民の趣味を涵養しよう。そして「率先して天然美破壊を敢行した今日、周章狼狽して居る欧米の林業界に対して、林業芸術論でも開かれることのできるの吾々日本人の特権ではあるまいか」と結ぶ。

議論としてはかなり強引で、最後は国威発揚的に締めくくっているが、骨子は林業を実用一辺倒にせず、造園の感覚も取り入れて美観の両立を訴えたことを読み取れる。

林業に美を求めるのは早すぎる

それに対して上原は「林業はどこまでも経済事業である」と主張した。ただ、今後林業が向かうべき方針として田村君の論説を否定するものではない、むしろ賛成するところが少なくない、と続ける。つまり、総論賛成、各論反対の立場である。

反論の前提として、林業と造園を並べるよりも、美観の造園に対応する実用は農業である。林業は、むしろ天然に放置して利用するものだ、とした。

そして欧米先進国には、まだ学ばねばならないことが多くあり、国粹的な意見にはむやみに賛成できない。林業も、ようやく収益を得られるようになった入り口にあるのであって、装飾を加え美的要求をするのはまだ早いと論じる。

また建築も、実用の上に装飾を加えた工業的な作品であり、生産力を持たない静的なものだが、林業

は利用を目的とする経済事業であり、年々生長し生産力を持つ動的なもの、と違いを指摘した。つまり林業は変化するため、固定的な装飾や美の発現に馴染まないというのである。

ただし「林業に美的方向を発達させ、風致的取り扱いを加味することは大いに望まじきこと」。経済事業に風致を加えることに矛盾はなく、理想的なことだとした。

最後は「庭園はどこまでも庭園として発達してほしい。そして森林には、森林美を発揮しつつ大規模な経済林として森林公園的な取り扱いをできるようになってほしい」と要望を述べ、収益と美の発露は前途ある日本の林業界の進むべき二大方針でなければならぬと結んだ。

結論としては、どちらも同じところに落ち着いたようにも読める。

美しい森林は、収穫多き森

田村の論の中に、「率先して天然美破壊を敢行した今日、周章狼狽して居る欧米の林業界」という言葉がある。この点は、少し解説が必要だ。

当時（19世紀後半から20世紀初頭）ヨーロッパでは、風雪害や病害虫が多発して森林が大打撃を受けていた。被害が大きくなった理由の一つに、それまで天然林を伐り開き一斉林（同じ樹種、同樹齢の苗を一斉に植えて育てた森林）づくりを進めてきたことにある。同じ樹木ばかり並んだ森は、気象の影響を受けやすいだけでなく、病害虫も大規模に広がりやすい。

また収穫は皆伐で行ってきたが、すべての樹木を



スイスの天然林と見間違えエメンタールの森（針広混交林）

一時期に伐採して森をなくすこのやり方は、環境に与える影響も大きかった。

一斉林の方が木材生長量を高めることができ、皆伐は技術的に簡単で低コストで済むという経済的な理論から行われた林業だったが、自然界から大きなしっぺ返しを喰らったわけである。

実は日本も、明治以降同じ一斉林・皆伐方式を取り入れた林業をしていたから、決して他人事ではなかった。田村の言葉を深読みすれば、日本の森林も今のままでは、同じような被害を被る恐れがあるという危機感を含んでいるのかもしれない。

ヨーロッパでは、この被害を受けて20世紀初頭から林業の方針を大きく転換している。とくにドイツなどの中欧諸国では、経済性ばかり追求したことを反省し、一斉林・皆伐方式から天然林施業と呼ばれる新たな森づくりがこの時期から始まった。最近では、近自然的林業という言葉も登場している。

詳しい経緯や技術的な面は省くが、大雑把に言うと、伐採は択伐による。森の中から必要とする木を一本一本選んで抜き伐りするのだ。皆伐は、原則禁止になった。そして跡地に苗は植えずに自然に生えてくる稚樹を育てる。当然、針葉樹ばかりではなく広葉樹も生えてくるから針広混交林となり、天然林そっくりになる。

この方法は、主にドイツやスイスなどで徐々に広がり現代にいたる。だから、これらの国では天然林と人工林の区別がなくなりつつある。逆に言えば、どの森でも人々はレクリエーションに興じる一方で、伐採など林業も行う。

実は、プロイセンの貴族で森林経営者だったフォン・ザーリッシュは、1885年に『森林美学』（原題・人工林の美）を発表した。木材生産を追求しつつ「技術的合理の森林は最高に美しい」「美しい森林はもっとも利用価値が高い森林」とした。自然との調和を前提とし、「利用価値」には、環境保全も含む森林の公益的な役割も含むとする。経済的利益と景観の調和を主張したのである。

そして1920年にドイツの林学者アルフレート・メラーは『恒続林思想』を発表した。有機体としての森林の持続が重要と唱え、伐採も皆伐のような一時的であろうと森をなくすような方法ではなく、

森の状態を維持し続ける択伐でなければならないとした。そして「最も美しい森林は、また最も収穫多き森林」という有名な言葉を発し、森づくりの営みを芸術的行為と捉えたのである。

またドイツの林学者コッタは「林業は半ば科学、半ば芸術」という言葉を残している。

こうした流れを見ると、「林業芸術論」は日本ではなく、むしろヨーロッパで展開されたと言えるだろう。

棚田と美林と都市緑化の違い

改めて考えると、風景を生み出す産業とは何だろうか。林業は、木材というマテリアル（素材）を生産するのが目的だ。農業は、野菜や米のように食物を生産する。なかには花卉類のように鑑賞用作物もあるが、これも飾るのは収穫後であり、生産の場を飾るわけではない。

一方で農林業は、存在自体が風景を生み出す。

たとえば日本の農業の主流である稲作は、水田の広がる田園風景を描く。春の水を張った水田、田植え時の光景、そして稲穂が垂れ下がった秋の風景に心をなごませる。

とくに棚田となると、美しい景観が持て囃されるようになった。農水省が「日本の棚田百選」を編んだように、農業生産を越えた風景として愛されるようになった。その美しい風景を利用して観光地化したところもある。もはや米づくりの目的を超えて棚田の維持が訴えられるほどだ。

また北海道を代表する観光地の一つに、美瑛町の

「美瑛の丘」がある。季節により美しい風景で人々を魅了するが、色とりどりの丘は、もともとパッチワーク状に栽培される作物が、それぞれ違った色に色づいた結果生み出されたのだ。

林業界にも「美林」という言葉がある。たとえば秋田杉、木曽檜、青森ヒバの森を三大美林と呼ぶ。ほかにも吉野杉や北山杉、尾鷲檜、天竜杉、梁瀬杉なども美林の仲間に入れられる。興味深いのは、広葉樹林系の天然林を美林と呼ばないことだ。高級建築材の生産を行う過程で誕生した木々が立ち並ぶ風景を、改めて「美林」と評価したのだ。

風景をつくるという点を考えると、造園業界も忘れてはいけない。公共の公園、道路や都市内の緑地のほか、個人の住宅、あるいは寺社など施設の庭もつくる。また近年はオフィスビルでも一定の緑地を設けることが義務づけられるようになった。

いずれにしろ、造園は土木工事なども行いつつ、樹木や草花を配置して、風景を演出する。植物を栽



棚田と里山



秋の刈り取り前の稲穂が美しい棚田風景



中之島公園（大阪市）

培するという点では農林業と近い関係だが、植物そのものが生産物ではなく、生み出すのは「風景」だ。最近では、建築物の屋上や屋根、さらに壁面の緑化も増えてきた。

国土交通省の調査によると、2011年に全国で少なくとも約25.2ヘクタールの屋上緑化され、壁面緑化面積も約8.9ヘクタールになったという。2011年までの12年間の累計施工面積は、屋上緑化が約330ヘクタール、壁面緑化は約48ヘクタールに達する。もちろんすべて

チェックできたわけではないから、実際はもっと多いだろう。

ちなみに、最近では平面の緑に覆われている面積比率を表す緑被率や、立ち位置からの緑の量を示す緑視率という言葉も使われる。

ただ農林業と少し違うのは、公園や緑地、街路樹などは、それ自体が利潤を生み出す代物ではないことだ。だから多くは、税金を投入されて造成される。個人の庭園も、基本的に所有者の実用ではなく趣向によって維持されるのが普通だ。

同じく都市ビルの緑化も、企業に課せられた義務的な意味合いが強い。所有者側からすると、余分な金と空間を緑に取られたと感じているかもしれない。このスペースに駐車場を設けたかったとか、店舗として利用すれば利潤を上げられたのに、と計算する業者もいるだろう。しかし働く人々の労働環境をよくする面や、集客に影響するかもしれない。いや、より直接的に屋上や壁面緑化でビル内の空調経費を抑えるという利益も生み出している。

ただ風景が、そのままビジネスに結びついていないとは言えないだろう。

ゴルフ場は風景重視のビジネス

これまで風景と経済行為について考えてきた。

大雑把に言って、農林業は生産重視ながら風景を副次的に生み出してきたと言えるだろう。一部で観



木曾檜の美林



磨き丸太を生産する北山杉

光化して風景を重視した農林業もあるが、それは例外的だろう。また観光によって落ちた利益が田畑や森づくりを行った所有者に還元されたかどうかははっきりしない。『恒続林思想』のように、美しい森をつくるのが長期的な収穫も増やすとする意見もあるが、まだ明快な理論にはなっていない。

同じく造園も、施工者はともかく、発注側にとっては多分に公共福祉的・趣味的なもので、緑地づくりが経済行為とは結びついていない。一部に有料公園や有料庭園もあるが、維持費以上の収益を上げるケースは稀だろう。

やはり風景と経済は両立しないのだろうか。

ここで頭に浮かんだのが、ゴルフ場である。ゴルフは、ボールの行方を競うだけのスポーツではない。自然の中に佇むことを楽しむレジャーでもある。そこには風景が重要な役割を果たす。

しかも、それは芝生だけで成り立っているのではない。ラフや森とのバッファゾーンなどに在来の草花が生え、残置森林の中にも古い地域の植生を残す。水辺には湿性の植物や水棲昆虫が豊富だ。また森、草地、水辺などがモザイク状に配置されることで、いくつかの生息域を遊動する野生鳥獣や昆虫も棲みやすくなった。その景観は里山に似ており、人の目に優しく美しく映る。

こうした風景は、ゴルフをプレイするために造成されたものだ。また完成後も常に維持管理が必要に



美しい景観をつくることもゴルフ場経営の重要な要素である
(グランデージゴルフ倶楽部 Eコース9番)

なる。芝生や樹林の手入れは、ゴルファーが円滑にプレイできるように行うのが第一義だ。芝生のコースだけでなく、その背景にある樹林や池なども、美しい風景になることが求められる。もし見映えが悪かったら、客足は伸びないだろう。言い換えると、ゴルファーを呼び込むために風景を創造している。だから経済行為なのだが、同時に環境的な機能の創造にもなったのだ。

しかも重要なのは、農林業では単一、もしくはそれに近い種数の植物を栽培するのに対して、ゴルフ場では生物多様性が比較的保たれていることだ。さすがにフェアウェイやグリーンなどの芝は数種類しかなく、雑草の繁茂は厳しく止められるが、周辺の樹木や草本は多様だし、池や小川などの存在が豊かな動植物の生息を可能にしている。

このように考察すると、ゴルフ場は生物多様性をうまく風景に活かしつつ、経営に役立てる珍しい業界ということもできるかもしれない。

景観と経済を両立させる時代

昔から、経済と環境は相反する事象のように語られてきた。収益ばかりを追いかければ、環境を破壊して批判される。一方で「環境にこだわりすぎると飯が食えない」という反発も起きている。

農業で儲けようとしたら作物を大量に生産する必要がある、そのためには単一作物ばかり植える、すると病虫害が発生しやすくなるため農薬を多投する。それが生態系を破壊してしまう。林業も、効率を優先すれば一斉造林・皆伐がよいが、それは生態

系を劣化させる行為である。

しかし、近年はこうした二項対立的な発想を見直す声も広がっている。「収益も環境も」両立できるという意見が登場してきたのだ。

たとえば一つの農地で多品種を混作する方が、病虫害の発生を減らせる。すると農薬の使用量を抑えられ、環境を保全できるだけでなくコスト削減になる。作物も美味しく育ち、高く売れて利益が出る。さらに災害や価格変動のリスクを分散させるなど経営的にも有益……という考え方だ。

林業でも、スギやヒノキなど高木だけを育てるのではなく、その下に広葉樹や草が生えても上層木は十分に育つし、また土壌が保全される。その方が土砂崩れなどを誘発しづらく、防災面からも重要とされるようになった。また環境が有料な森林はCO₂吸収源としても取引対象になりつつある。

先に紹介した『森林美学』では、美しい森づくりの意義を4つ上げている。

まず美を考慮することで、作業場の誤謬を防ぐ。美しい森づくりを意識すると、目先の利益に走るような間違った方策を選択しなくなるというのは、ザリッシュの経験則かもしれない。

次に森林官の満足感を与え職務に邁進する。これは林業従事者のモチベーションを高めると理解すると良いかもしれない。

民衆の好感を与える。現在なら森林ボランティアの増加や世間の林業に対する理解を増やすことと考えるとわかりやすい。林業に対する税金投入などを納得してもらいやすくする効果もある。

最後に民衆の定住を促す。直接ビジネスと関係ないようだが、地域住民の愛着を増やすことはビジネスにも決して不利にはならない。広い意味で収穫物の価値を高めたり、客を増やすなど経済的利益も生み出すだろう。

これらの意義は林業だけでなく、広く緑を扱う業界に適合するのではないか。

逆の面から考えると、風景をつくる作業を、利益度外視の公共の福祉や趣味だと「支出」扱いするのではなく、利益を上げるための重要な手法だと考えれば、「投資」と考えることもできるだろう。

もちろん、農林業やゴルフ業界など緑を扱うすべ

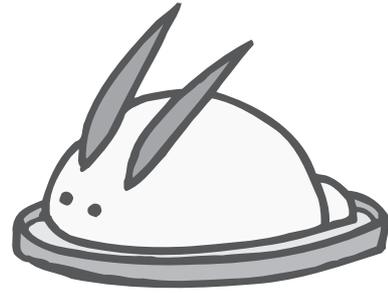
での業者が風景（環境）と経済を両立させているわけではない。むしろ自然破壊的な面もまだ色濃く残している。また両立させるためには、様々な工夫と手間も必要だ。誤れば逆に自然を劣化させることもあるし、経済効果も出ない。試行錯誤しながら技術

を磨かねばならないだろう。

しかし、進む方向は間違っていないのではないか。「林業芸術論争」と同じく、両立させることに矛盾はなく、むしろ理想であり、それに向かって進むべきなのである。

雑草学講座： 雑草の素顔と付き合い方 その5 —雑草はなぜ生える③： 種子繁殖のメカニズム

京都大学名誉教授／NPO 法人緑地雑草科学研究所
伊藤 操子



雑草の種子繁殖の精緻なメカニズムは、一年生雑草のもつ生活史戦略の基盤である。今回は、種子の発芽およびそこから始まる生活史において、一年生雑草がいかにフレキシブルに自然環境や人間の管理に適応しているのかについて紹介する。

I .どこから発生するか：埋土種子とその動態

1) 埋土種子とは

土のあるところ、どこでも（ほんの小さなメジでも）雑草が発生してくるのは誰でも知っている。しかし、発生するのはそこに種子があるからである。たいいていの表層土、とくに開放地の表層土には多くの生きた雑草種子が溜まっており、これを雑草の埋土種子集団（soil seed bank）とよんでいる。雑草は基本的に多産性なので、ある場所において、生産された種子がそのまま親植物の周囲に落下したり、風、水、人間、鳥や小動物等によって運び込まれたりするので、相当な数になるのは不思議ではない。問題は、それらが長期に生きたまま存在することである。

埋土種子の収支は、このように流入する種子と出芽あるいは死亡によって失われる種子の差ということになる（図1）。埋土種子量は耕地、草地、林地、放任地窓土地利用法の差によって大きく異なるが、種子の流入にも発芽にも、そして死亡にも様々な要因が関係するので、通常数万個/m²の種子があるといわれる耕地（畑地）間でも、さらに、同じ畑でも管理の仕

方によって著しく差があるようだ。佐合（1995）がまとめている10カ国の穀物・野菜畑の調査例をみると、数100～数10万/m²までである。

2) 種子の休眠性

多くの雑草種では種子1粒の重さが1～0.1mg程度と小さいが、このように微細であるにもかかわらず雑草種子の寿命がなぜ長いのだろうか。それは、多くの雑草の種子が、作物種子がもたない休眠性もっていることと関係が深い。休眠性は次の二つに区分できる。

一次休眠：親植物を離れ発芽能力をもった種子が、胚自身（胚が未熟など）あるいは母親由来の胚を取り巻く部分（胚乳や種皮・穎・果皮など外被）に存在する特性により、発芽好適環境下におかれても発芽しない状態をいう。後者の作用は、胚の吸水阻害、ガス交換阻害、光の透過阻害、胚生長の物理的阻害、

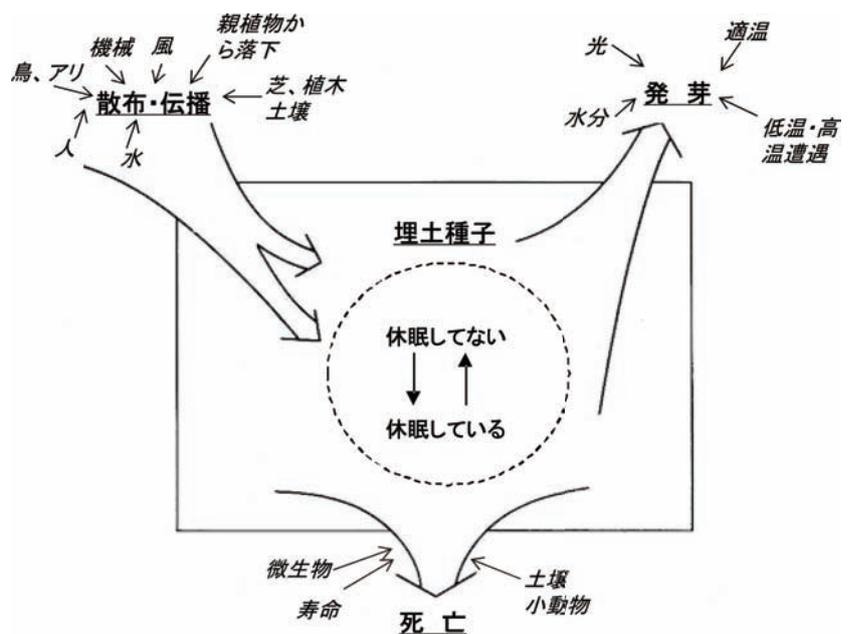


図1 雑草の埋土種子集団の動態

抑制物質によるなどである。

二次休眠：一次休眠状態は、一定期間を経て胚が成熟し外被部分がルーズになることで取り除かれるが、その後も発芽に適した条件が得られないと、また休眠状態に入る。これを二次休眠と呼んでいる。多くの埋土種子が成熟→一次休眠→休眠覚醒状態→二次休眠→休眠覚醒状態→二次休眠・・・というサイクルを毎年繰り返しながら、出芽と死亡によって漸減していく。

種子の休眠性の強弱は草種によって大きく異なる。オオアレチノギク、ヒメムカシヨモギの種子には通常休眠性はなく、飛来地ですぐに発芽する。一方、休眠性の明確な雑草種、例えば夏雑草のメヒシバやヒエ類などの場合、夏秋季に成熟・落下した種子は2,3カ月の低温に遭遇しないと発芽しない。すなわち、その後の生育に適した春の到来まで休眠状態で過ごす。しかし、土中深くや、地表の乾燥部分に位置したりして発芽適温期間を逃すと、発芽せず二次休眠に入る。

3) 雑草種子の寿命

雑草種子の寿命については調査自体が気の長い仕

事である。規模の大きい調査としては、1902年に Duvel によって埋土された107種に及ぶ種子の20年後発芽性をみた Goss (1924, USDA) の報告がある。これによれば、15種の食用作物と野菜の種子は埋土翌年にはすでに発芽しなかったが、雑草種子は総じて長い期間発芽力を保っていた。ブタクサ、セイヨウオオバコ、ヨウシュヤマゴボウ、イチビ、ハルタデ、ナガバギシギシ、エゾノギシギシは10年後以降も50%以上の発芽率を示したそうである。最も長期間にわたる調査としては120年間の埋土がある(コラム)。日本では、水田雑草の10年間の埋土試験があるが、試験場の移転で中断を余儀なくされたときいている。残念なことである。いずれにしても、研究期間や組織全体の課題として後代に次々引き継がれなくては出来ない仕事である。

II. どうして発生するか：種子の発芽と出芽

種子からの雑草の発生には、まず土中での“発芽”、次いで地表に姿を現す“出芽”という段階過程がある。発芽の過程は種皮を通した吸水から始まり、まず幼根(radicle)が水で柔らかくなった種皮を破っ

コラム 雑草種子のタイムカプセル：Beal 博士が埋めてから 120 年

1879年、アメリカ・ミシガン州農科大学の Beal 博士は、周辺に見られる植物23種の種子を各20ロット、1ポイント(約500ml)のビンに入れ埋土した。種子は適湿の砂と混合して開口状態でビン詰めされ、3フィート(約1m)の深さに一列に置かれ、目印として両端に石柱が立てられた。

当初は5年毎に掘りだして発芽試験をするつもりだったので、100年後までの調査を設定していたと考えられる。調査は次々研究者に引き継がれ、期間は10年毎になり、ついに20年毎ということで2000年の春に120年目の掘り上げ調査が行われた。

40年後まではほぼ毎回発芽が確認されたのは、アオゲイトウ、クロガラシ、ナズナ、マメグンバイナズナ、メマツヨイグサ、スベリヒユ、ナガバギシギシで、120年目に発芽が確認されたのは、40年間では継続的な発芽が見られなかった *Verbascum blattaria* (モウズイカ、ゴマノハグサ科) と *Malva rotundifolia* (ハイアオイ、アオイ科) の2種であった。ちなみに、埋土した Beal 博士は前者を *V. thapsus* (ピロードモウズイカ) と同定している。

まだ、5ロット残っているようなので、20年おきとすれば最後の掘り出しは2100年になる。実験上の不完全さもあったであろう。しかし、その成果はともかくとして、このような企画を立案する人間とそれを100年以上継続させる人々や体制は、すごいではないか。改組、改組で落ち着いて仕事ができない日本の研究機関では、夢のまた夢である。



ピロードモウズイカ

草高2mにもなる大型二年草。日本には花卉として持ち込まれ、野生化して空地などに帰化している

て抽出し、伸長して速やかに養水分を吸収し始めるのに並行してシュートになる部分が地表に向かって生長を開始する。土壤処理除草剤が最も効果的に作用するのはこの期間で、種子や幼根の吸水に伴う薬液の吸収、幼根や土中のシュート部分への薬液の接触吸収によって枯死に至る。

1) 発芽に影響する要因

雑草種子は、一定期間の低温あるいは高温（湿潤）遭遇して休眠覚醒しても、発芽するにはその後の生長が約束されるような好適な温度・湿度・光条件が整う必要があり、それらが発芽自体の環境的引金となっている場合が多い。図2には著名な種子生理学者のEgleyによる発芽を促進・抑制する外的要因のまとめを挙げたが、このように発芽は非常に多

く要因の影響を受ける。

大粒の作物の種子の多くが光発芽性を持たないのにたいして、雑草種は発芽に光を必要とするものが多い。光発芽性は雑草種子にとって二つの点で有利な戦略であると考えられる。一つは、種子が地表あるいは地表に近い浅い位置にいることを知る手段としてであり、変温（地温の日較差）と合わせて働くことが多い。雑草は春季あるいは秋季に発芽・発生するものが多いが、気温の日較差が大きいこの時期は、土壌中でも地表に近いところほど地温の較差が大きい。つまり、雑草種子は発芽可能な位置情報を光と温度から得ているということだ。雑草のなかでも微細な種子は光+変温セットがないと発芽しないが、比較的大きな種子であるホソムギ、オオウシ

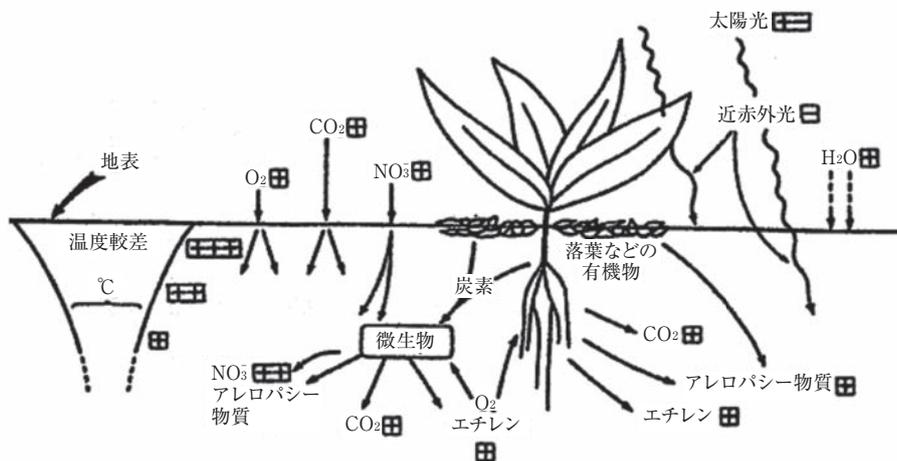


図2 土中の雑草種子の発芽に及ぼす外的要因 (Egley ら、1987)

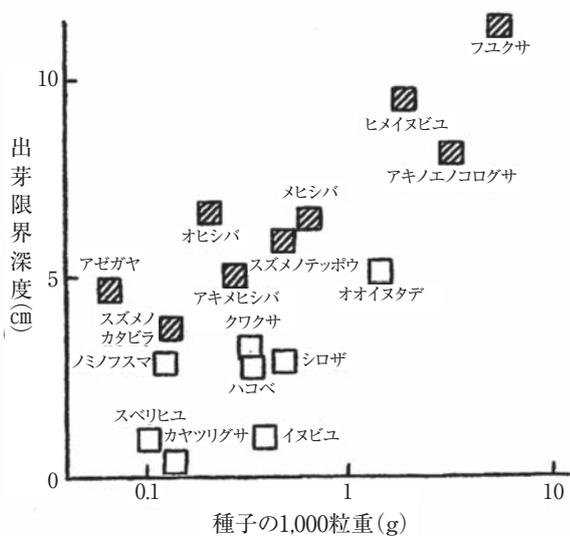
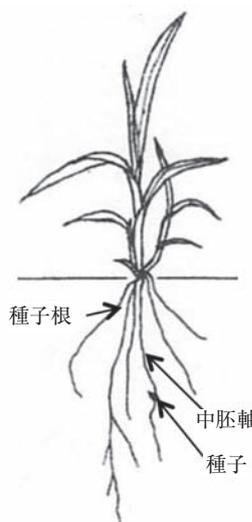


図3 主な雑草種子の大きさと発芽限界深度。右は中胚軸を形成するイネ科雑草。種子から非常に細い糸のような中胚軸を伸ばし、地表の直下で種子根とシュートを発達させる。

ノケグサはこれらに関係なく発芽する。光発芽性のもう一つの戦略としては、他の緑色植物の被陰下にあることを知ることである。太陽光のうち赤色光は発芽を誘導するが、近赤外光はこれを阻害する。緑葉は赤色光を吸収するので透過した光は近赤外光の割合が高くなり、これが発芽を抑えるといわれている。つまり、芝等の植栽植物がよく茂っていることが、雑草の発芽自体を抑制する（発生後の競合によるだけでなく）ことになる。

2) 出芽に影響する要因

土中にとくに邪魔ものがない限り、雑草の出芽は種子の大きさと土壌の物理的性質に影響される。発芽した幼植物の先端が地上に到達し光合成を開始するまでの生長を支えるのは、種子の貯蔵養分である。したがって、種子の大きさと発芽深度とは正の相関がある（図3）。しかし、図にもみられるように、イネ科各



種は同じ重さの双子葉種より深い位置から出芽できるが、これは中胚軸を伸長させる特性によっている。土壌の物理性の違いは、メヒシバの例（図4）に示すように胚軸等が土中を上向き伸長する際の難易に大きく影響する。砂地であるパティンググリーンではかなりの深度からのメヒシバの発生が可能ながことが示唆される。

Ⅲ. 一年生雑草の生活史と適応戦略

雑草は何に適応するために精緻な戦略をもつか、それは変動する自然環境と人間の営みに対してである。人間による攪乱のある地に生活する雑草は攪乱依存性植物群なので、人為環境に対してその生活史戦略がいかに発揮されているように思える。とくに、管理に対していかに適応するかについて知っておくことは、非常に重要と考えられる。残念ながら主要雑草についてこれを体系的に説明できるだけの情報は揃っていないが、効果的な雑草管理には雑草のフレキシビリティへの理解がぜひ必要なので、以下に典型的な例をいくつか紹介しておく。

1) 集団内での発生のばらつきとその要因

長期にわたる発生消長：一年生作物畑では、雑草は播種や移植前の耕起によって一斉に発生する。したがって、土壌処理剤による化学的防除が効果を発

揮する。しかし、不耕起栽培では雑草の発生がだらだらと継続し防除が難しい。図5に夏生一年草の自然状態での発生経過の一例を示したが、比較的低温で発生するシロザやイヌタデは別として、メヒシバ、カヤツリグサ等では発生は2~3カ月に及ぶ。エノコログサでも同様な傾向がみとめられている。

発生はなぜ長引くか：同じ集団（一つの場所に生えている同種植物群）で長引く要因は、雑草自体と環境の双方にある。まず雑草側の要因としては、種子の休眠・発芽に関わる個体間の遺伝的変異と1個体内での種子の着生位置（形成時期）等によるばらつきがあり、これらの性質は多くの雑草種で明らかにされている。一方、環境要因によるばらつきは、種子の置かれた場の状態に起因する。代表的なものは、地表面の凹凸であろう。僅かな凹凸であっても微細な雑草種子にとって、凸部分にある種子は十分な降雨が来るまでは発芽できない。さらに、種子が存在する土中深度も出芽までの期間に影響するであろう。

管理に反応して変化する生活史：芝地に関する管理作業で、一年生雑草の生活環に影響するものとしては刈込み、手取り除草、リノベーション、施肥等が挙げられる。刈込みはメヒシバの発生時期を著しく変化させることが明らかである。すなわち、池田ら（2003）は、裸地では発生しなくなった7月および8月でも、オーチャードグラス草生下では刈取り直後に発生がみられると報告しており、芝地でも

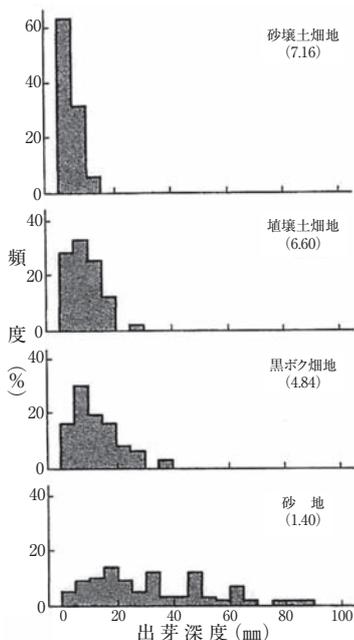


図4 異なる土壌におけるメヒシバの出芽深度

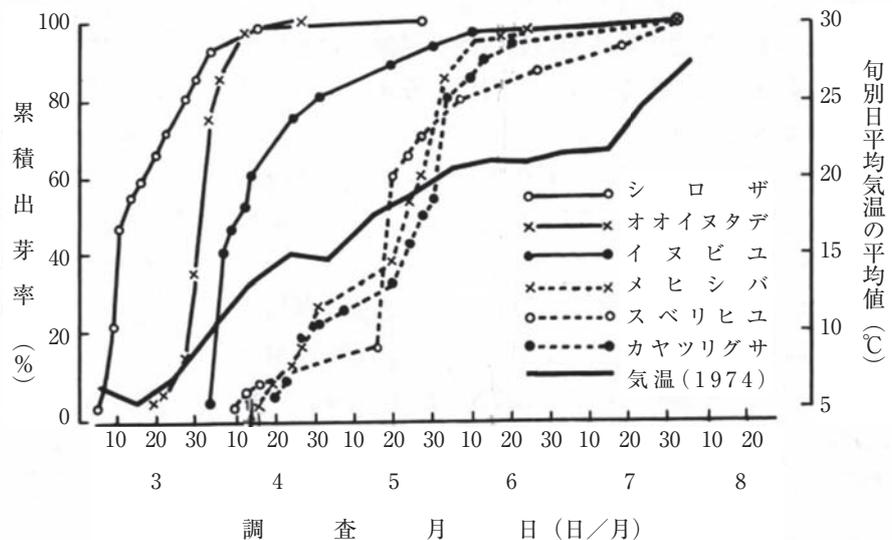


図5 主要畑雑草の自然発生の経過（埼玉）

同様な現象が起っている可能性が高い。耕起(攪乱)が急激な雑草の発生を促すことはよく知られているが、手取り除草も一種の土壌攪乱であり、通年草コハコベでは野菜畑で手取り除草がされる度に直後の発生がみられた。サッチの有無も雑草発生に大きく影響する。例えば、オオアレチノギクやヒメムカシヨモギのような微細な種子は飛来しても通常芝生下の土壌まで到達せず、サッチの上で発芽し死亡することが多いが、サッチが除去された後に侵入すると発芽・定着する。また、硝酸態-N、人為的な休眠覚醒法として利用されることもあるように雑草種子の発芽刺激効果をもつことが知られており、施肥が雑草の発生を促すことも十分考えられる。芝生管理として必要な施肥やリノベーションも、雑草の発生時期との関係を勘案して実施する方がよいということであろう。

2) 管理に対応した集団間の変異

ここでは、管理に対応した生活史適応変異として、ゴルフ場芝地内のプレー区画間のスズメノカタビラの変異の小林らによる研究と、片岡らによる生育地間のメヒシバの研究例を紹介する。

ゴルフ場におけるスズメノカタビラ：グリーン、フェアウェイ、ラフ、ティグラウンド等のプレー区画間では、刈込みの高さと頻度が異なり、また踏みつけの度合いも異なる。これらゴルフ場特有の選択圧に対して、スズメノカタビラが驚くべき適応的変異を発達させている(図6)。この研究では各区画から採取した個体を同一環境で生育させ、得られた種

子からさらに同一環境下で栽培し調査しているの
で、区画間の差は明らかに遺伝的変異である。グリーン由来の集団は非常に小型であり、またグリーンとティグラウンドに存在する帯赤色個体には出穂が最も早い特徴がみられた。このことについて、手取り除草がされる場面では、帯赤色個体は目に着きやすいからであろうと推察している。Sweeneyら(1995)が行ったDNA解析によれば、グリーン集団はフェアウェイ集団と遺伝的に全く異なっていた。したがって、後者がグリーン個体の発生源とは考えられず、グリーン個体はグリーン上の個体から再生産されるとみなされる。フェアウェイとラフの集団間には遺伝的分化がみとめられなかったことから、ラフがフェアウェイのスズメノカタビラに繁殖源になることは大いにあり得る。なお、アキメヒシバについてもスズメノカタビラと同様の変異が認められている。

生育地の異なるメヒシバ集団：片岡ら(1985、1988)は地域とハビタットの異なる様々なメヒシバ集団を採集・経代育成してその生活史を調査した結果、早生型と晩生型(図7)に大別されることを見出した。畑地と水田畦由来の集団には早生型は見られずすべて晩生型であったの対して、園芸畑、路傍、道路の分離帯では早生型が多く存在した。周期的で雑草にとって予測可能な攪乱のある生育地では、前繁殖期間が長く十分に栄養生長した後短日に反応して生殖成長期に入り多くの種子を生産するが、予測不能の攪乱がたびたび起こる生育地では、短い栄養

生長で少数でも早期に種子を生産するという、メヒシバの適応的変異とみられる。

雑草はスペシャリストかジェネラリストかという議論もあるようだが、前者を周期的管理の農耕地環境に特殊化した耕地雑草(水田のヒエ類等)、後者を予測不可能な環境に生える雑草と考えると上手い表現だと思う。いずれにしても、緑地管理場面に生育する一年生雑草はジェネラリ



図6 プレー区画間の選択圧の違いに反応したスズメノカタビラとアキメヒシバの変異。いずれも、採取個体を同一条件下に移植した次代の反応。(小林、1983より抜粋)
G：パティンググリーン、TG：ティグラウンド、FW：フェアウェイ、RF：ラフ。(g)：緑色タイプ。(r)：帯赤色タイプ。

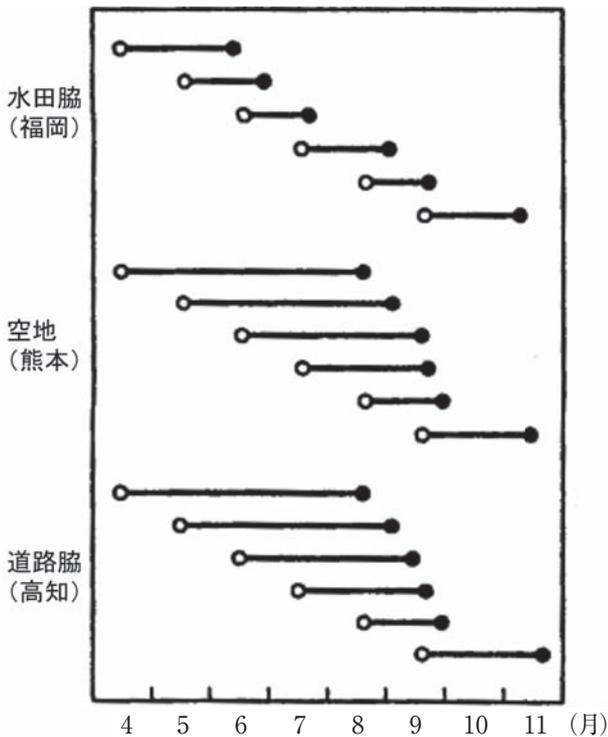


図7 メヒシバの早生集団と晩生集団の例 (片岡ら、1986)

ストである。予測不可能な環境に適応戦略を駆使して生き延びるこれらの雑草群の行動は、人間の側からも予測不可能なことが多く、したがって、その管理は作物畑や水田ほど簡単ではないといえるだろう。

引用文献

- 1) Darlington, H. T. 1922. Dr. W. J. Beal's seed-viability experiment. Amer. J. Bot. 9 : 266-269.
- 2) Goss, W. L. 1924. The viability of buried seeds. J.

Agric. Res. 29 : 349-362.

- 3) 池田賢太郎・後藤貴文・飛佐学・下條雅敬・増田泰久. 2003. 地表部の植被と刈取りがメヒシバとイヌビエの発芽時期に及ぼす影響. 草地学会誌 49 : 373-378.
- 4) 伊藤幹二. 1979. 芝地における雑草防除体系. 芝草研究 8 : 31 - 39.
- 5) 伊藤操子. 1993. 雑草学総論、養賢堂.
- 6) 伊藤操子. 2000. 芝地雑草の生理生態的な特徴. 芝草研究 29 (別1) : 1 - 9.
- 7) 片岡政之・茨木和典・徳永初彦. 1985. メヒシバの出穂性にみられる集団間差異. 雑草研究 30 (別) : 74 - 75.
- 8) 片岡政之・片岡健治. 1988. メヒシバの出穂習性にみられる地域集団間変異. 雑草研究 33(別) : 57 - 58.
- 9) 小林央往・伊藤松雄・植木邦和. 1983. スズメノカタビラの変異について - ゴルフ場における各種プレー区集団の諸特性 -. 雑草研究 27(別) : 149-150.
- 10) 三浦励一. 2007. 雑草の生活史戦略をどう見るか. 種生物学会編「農業と雑草の生態学」. 275-296、文一総合出版.
- 11) 佐合隆一. 1995. 農耕地における埋土種子. 雑草研究 40 : 252-261.
- 12) Telewski, F. W. and A. D. Zeevaart. 2002. The 120-yr period of Dr Beal's seed viability experiment. Amer. J. Bot. 1285-1288.

『芝蟲紳士録』

(しばむししんしろく)

その十八

“ヒラタアオコガネ”

もうちょっと寝かしておいてくれ！まだまだ外に出るつもりは無いのだから……

俺様は“ヒラタアオコガネ”だ。最近ゴルフ場で少し注目され始めたみたいだけど、あまり知られていない俺の生態を教えてください。

ゴルフ場に出没するコガネムシ類はたくさん知られているが、俺は他のコガネムシとはちょっと違った生涯を送っている。多くのコガネムシ類は卵から幼虫になると2回脱皮をして3齢幼虫の形で越冬する。そして翌年に蛹となり、その後成虫が現れた産卵し世代が繰り返されていくのだ。ところが、俺たちヒラタアオコガネは春に卵から孵化すると、初夏には3齢幼虫になり夏の終わりには蛹となりその年の内に成虫になってしまうのである。成虫は地上に出ることなく芝地の中で越冬し、年が明けて春になると一斉に地上に飛び出す。

ちょうど気温が20℃前後になる4月から5月にかけて日中に一気に地上に出てくるのだ。夜行性が多いコガネムシ類において昼行性の俺たちはとにかく目立つ。蛹からダラダラと成虫に羽化する他のコガネムシと異なり、既に成虫は全員芝地内に待機しているのだから、気温が引き金になり一斉に現れる。一斉に出てきた成虫はダンゴのように固まって行動するから皆びっくりする。不快害虫と呼ばれてしまうありさまだ。

ところで、同じコウチュウの仲間にかぶトムシとクワガタムシがいて子供たちの昆虫人気を二分している。このかぶトムシとクワガタムシの違いをご存じでしょうか。もちろん形態に違いがあるのは当然であるが、ここでは生態の違いをお話ししよう。かぶトムシの成虫は夏休みの始まる頃に現れ、夏休みが終わる頃にはいなくなってしまう。かぶトムシのメスは成虫になった時には既に体の中に卵を持っていて、地上に出るや交尾をしてしばらくすると卵を生み出す。一方、クワガタムシの仲間は成虫になっ

ても生殖できる体となるには餌をたくさん食べなければならない。これを「後食(こうしょく)」といい、メスは造卵するために準備をしなければならないのだ。よって、かぶトムシは成虫になってからの寿命は短く、クワガタムシは成虫になってからも長生きをする。

実はコガネムシの中にもこのかぶトムシのタイプとクワガタムシのタイプがいるのだ。成虫になってすぐ卵を産みだすかぶトムシタイプにはセマダラコガネ、チビサクラコガネやスジコガネなどがある。後食をするクワガタムシタイプにはドウガネブイブイやヒメコガネなどがおり、当然俺もこの仲間になる。

俺たちは成虫になってからも餌を食べなければいけない、ヒメジョオンやコゴメウツギなどの花やアジサイ、イタドリなどの葉を食べる。でも一番好きなのは、ちょうど俺たちが地上に現れる時期に咲き誇っているツツジの花である。あれは柔らかくて美味しい。

俺たちが発生する時期にゴルフ場のツツジやアジサイに殺虫剤をかけることはしないでほしい。おっと、余計なことを言ってしまったかな……

つづく



ヒラタアオコガネ



■ ベントグリーン内メヒシバ防除剤
(芝用除草剤)

NEW

2013年より
新製品が
続々登場!!



ᠠᠪᠢᠰᠢᠲᠬᠡᠮᠤ
ᠠᠪᠢᠰᠢᠲᠬᠡᠮᠤ
ABISTHEM

次のステージへ...

2013年、当社は新たなステージへと踏み出します。
新しい製品、新しい技術、新しいサービスは、
当社製品をご利用いただくすべてのお客様のために。

グランデージゴルフ倶楽部
Eコース9番ホール

■ スズメノカタビラ出穂抑制剤

(芝用植物成長調整剤)

NEW



■ ダラスポット病防除剤

(芝用殺菌剤)

NEW



【編集後記】

グリーンニュースの内容について御意見・御感想がありましたら、FAX または eメールにてグリーンニュース編集部までお送りください。

●送付先 〒110-8520 東京都台東区東上野 4-8-1 TIXTOWER UENO 8F
株式会社理研グリーン グリーンニュース編集部
FAX : 03-6802-8577 e-mail : kikaku@rikengreen.co.jp
URL : <http://www.rikengreen.co.jp>



緑をつくり、育て、守る。

株式会社 理研グリーン

本社	〒110-8520	東京都台東区東上野 4-8-1 (TIXTOWER UENO 8F)	☎ 03-6802-8301 (代)
札幌駐在員事務所	〒003-0029	札幌市白石区平和通 16 丁目北 7-1 (カーサバズ 202)	☎ 011-595-7401 (代)
仙台支店	〒980-0014	仙台市青葉区本町 1-11-1 (仙台グリーンプレイス 5F)	☎ 022-222-9599 (代)
東京支店	〒110-8520	東京都台東区東上野 4-8-1 (TIXTOWER UENO 8F)	☎ 03-6802-8943 (代)
静岡支店	〒422-8058	静岡市駿河区中原 551 番地	☎ 054-283-5555 (代)
名古屋支店	〒460-0008	名古屋市中区栄 2-1-1 (日土地名古屋ビル 16F)	☎ 052-218-3060 (代)
大阪支店	〒560-0082	大阪府豊中市新千里東町 1-5-3 (千里朝日阪急ビル 5F)	☎ 06-6871-1691 (代)
福岡営業所	〒812-0004	福岡県福岡市博多区榎田 2-2-1 (久次ビル 5 号室)	☎ (大阪支店にて代行受付)
福田工場	〒437-1213	静岡県磐田市塩新田 432-3	☎ 0538-55-5108 (代)
グリーン研究所	〒437-1218	静岡県磐田市南田伊兵衛新田 859-1	☎ 0538-58-1282 (代)