

水稻群落下の田面における光環境の特徴

－空間的に不均一な実態と日変化の概要－

農業環境技術研究所 西村誠一・伊藤一幸*

*現、東北農業研究センター

はじめに

作物そのものの草型や畝方向は、群落下の雑草の生育にどのように影響しているのだろうか？

この問題は、雑草・雑草防除に関わる研究者にとって、昔も今も、大きな関心事であろう。この問題に対して直接アプローチするためには、異なる品種や畝方向の試験区を設定して作物を栽培し、群落下の雑草の生育調査を行うことが考えられる。しかしながら、群落下の雑草の分布は、極めて不均一であることが多い。このため、やみくもに試験を行ってみても、試験区による雑草の生長の差を有意に検出することは、難しい場合が多いのではないだろうか。この「作物群落下の雑草の分布が不均一であること」を生ずる原因は、いろいろ考えられるが、重要なものの一つは、やはり「群落下に到達する光の分布、およびその時間変化」であろう。光は、植物の光合成・生長に必要なエネルギーを供給する源である。特に、作物群落下で生育する耕地雑草は、低い光条件下に置かれているため、その光合成・生長は、非常に多くの場合、受光量によって律速されていると考えられる。このため、作物より草丈が小さな雑草は、①作物の生育より早く生活環を完結するか、②作物群落下の低い光条件に馴化するか、③作物の収穫直後から気温が下がるまでの短い期間に種子生産

をするか、についての選択が求められる。特に、②の特性を持つ草種を対象とする場合には、雑草の生育している作物群落下の光環境についての詳細な知見を得ることが非常に重要になる。作物群落下の光環境については以前から多くの研究が積み重ねられてはいるが、現在でも、解明されていない点はまだ多い。

ここでは、著者らが試作した小型のフォトダイオードを100個並べた光センサーアレー（光強度多点測定装置）を用いて、水稻群落下の田面での光強度を詳細に測定した結果(Nishimura and Itoh, 2003)の概要を紹介する。また、その結果を基に、従来ほとんど解明されていなかった、「光の空間的な分布のバラツキ」および「相対光強度の日変化」に焦点を当てて、水稻群落下田面での光環境の特徴について述べる。

1. 光センサーアレーを利用した水稻群落下光環境の実測値

外径5mm×6mmの小型の光センサー（フォトダイオード）を一列に100個並べ、光センサーアレーを試作した。各センサーの間隔は5mmで、アレーの端から端までで50cmになる。このセンサーアレーを、約1時間毎に晴天時を選んで畝間の中央に挿入し、畝間田面の光強度の測定を行った（図－1）。

まず、光の分布の実態についてのデータをみ

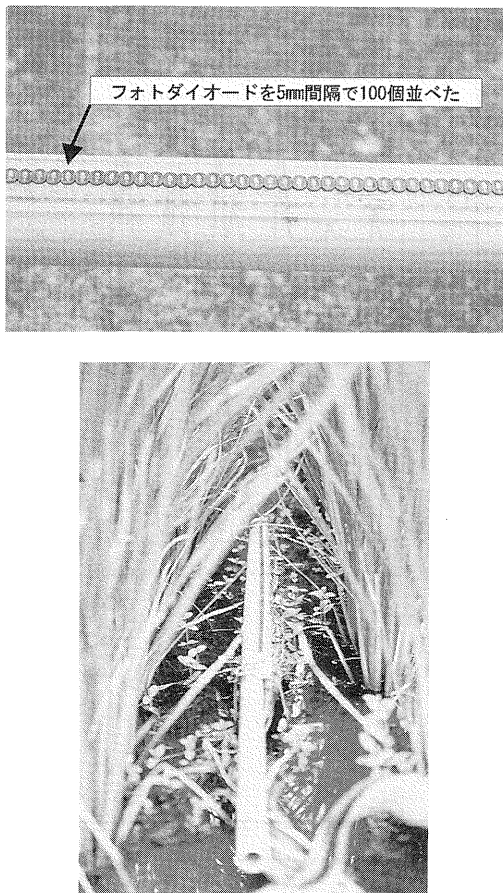


図-1 試作した光センサーアレー（上段），およびこれを水田の畝間田面に挿入しているところ（下段）。

る。得られたデータの例を，図-2に示した。これは，試作した光センサーアレーを用いて測定された，水稻群落下の田面の光強度の水平分布について，一時間毎の変化（7:30～16:30）を示したものである。まず，畝間田面には，陰になっていて暗いところと，直射日光が差し込んでいて明るいところとが不規則に分布していることが，このデータからはっきり示されている。また，このデータを，時間を追って見てみると，「9:30くらいまでは，ほとんど田面に直射日光が差し込んでいない。10:30頃から徐々に直射日光の差し込む部分が生じ，この状態が

13:30くらいまで続く。その後，14:30以降には，再び田面一面が低い光強度の状態になる。」という日変化の概要であることがわかる。この結果を短くまとめれば，「田面のうち，直射日光を受けて顕著に明るくなっている部分は一部のみであり，また，日中の比較的短い時間帯にのみ生じている」ということになる。

次に，この100点のデータを平均した，平均光強度，および，そのときの全天日射に対する相対値（以降，「平均相対光強度」または単に「相対光強度」と表記する），について，水稻品種ごと，および生育ステージごとにまとめたものを，図-3に示した。田面の平均光強度は，概ね日中に高い値を示し，朝方および夕方には低い。ここで特徴的なのは，「平均相対光強度も，光強度の絶対値と同様の日変化をしており，概ね日中に高く，朝方および夕方には低い」ことである。（これは，「群落下の光強度の絶対値は変化しても，相対光強度は一定である」という原則論とは全く異なる結果である。）もう一点，このグラフの特徴を述べる。グラフをより詳しく見ると，田面の光強度および相対光強度の最大値は，太陽高度が最も高くなる11:40頃（試験地での太陽の南中時刻は，11:40頃である）ではなく，13:30頃に記録される場合の方が多かった。（南京11号を除くIR36号，日本晴，愛国の3品種全てで，この結果が得られた。）

2. 群落下への光の到達に関する理論的考察

以上のような本試験結果が得られた理由として，現段階で考えられることを，以下に記述する（図-4参照）。

植物群落下の相対光強度を記述する最も基本的な数式，

$$I / I_0 = \exp(-K \cdot L)$$

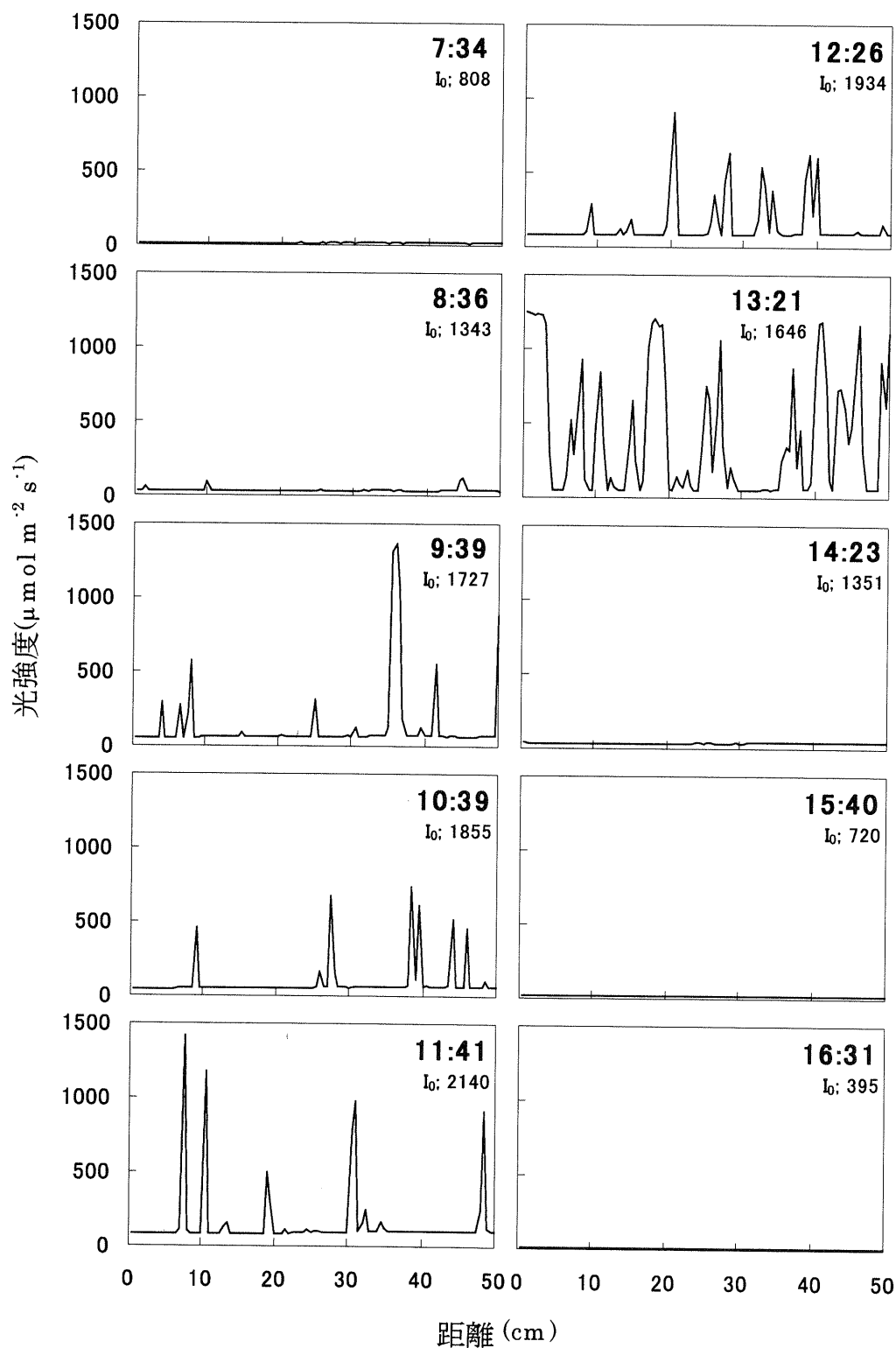


図-2 水稻群落下の田面での光強度および相対光強度の分布 (例)。測定日：1998年9月9日 (出穂期頃)。品種：日本晴。各图中， I_0 は、同時に測定された、全天の光強度を示す。

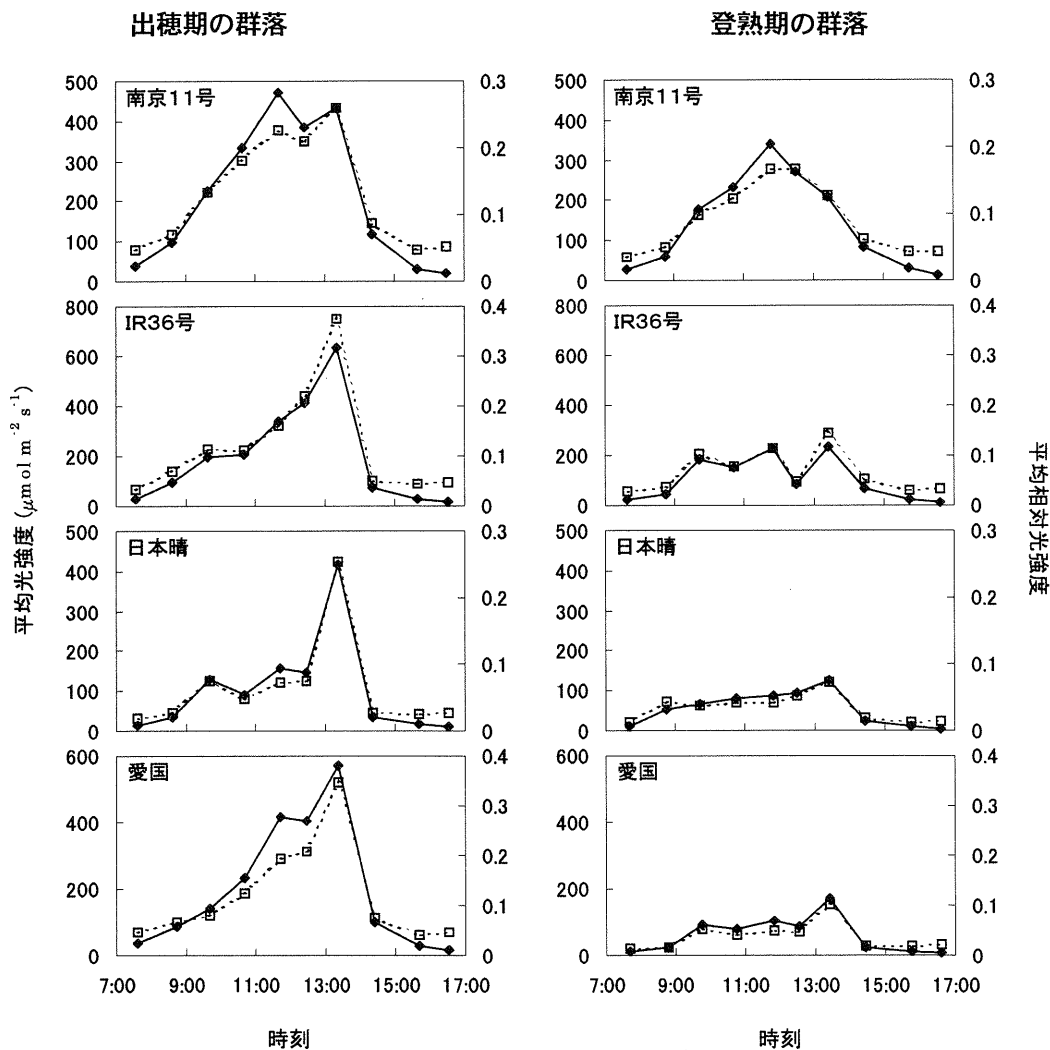


図-3 (100点の) 平均光強度および平均相対光強度の日変化。測定日：1998年9月9日。

左側の図は、普通期栽培 (6月22日移植) 水田でのデータ。測定日は出穂期頃であった。

右側の図は、早期栽培 (4月28日移植) 水田でのデータ。測定日は出穂後2～4週間であった。

試験区の畝方向は、東北-南西方向である。太陽の方位角が南西になる時間帯 (13:22の前後) に光強度が最大値を示す場合が多い。

は、広く一般的に知られている。

(I : 群落下光強度, I_0 : 全日光強度, K : 吸光係数, L : 葉面積指数)

この式により, KとLが与えられれば, 全日光強度に対する群落下光強度の比は一定になる。平たく言えば, 「ある群落下での明るさは, 全天の明るさに比例して増減する」ことになる。また, 一般的にイネ科植物のように直立した葉を

主体とする植物では, 水平な葉を持つ植物と比較してKが小さい (同じ葉面積であれば, より多くの光が群落の下層まで届く) ことも, よく知られている。これに対して, その重要性の割に知られていないのが, Kの太陽高度依存性である。水平葉で構成される群落では, 理論的には $K=1$ になり, この値は太陽高度に依存せず一定である。これに対して, 直立葉で構成される

群落では、葉の方位角が全て太陽の方角であると仮定すると、理論的には $K = \tan \theta$ になる。 $(\theta$: 太陽の天頂角 $(90^\circ - \text{太陽高度})$) (Jones, 1992) これが定性的に意味するところは、「水平葉群落下では、相対光強度は日変化しない」「一方、直立葉群落下での相対光強度は、一定ではなく、太陽高度に従って変化する。(昼間に高く朝夕に低い日変化を示す。)」ということである。また同時に「太陽高度が低いときには、水平葉群落よりも直立葉群落の方が光の透過率が低い」ということも示している。(先に述べた、「一般的にイネ科植物のように直立した葉を主体とする植物では、水

平な葉を持つ植物と比較して K が小さい」ことは、より厳密に言えば、常に成り立つものではなく、太陽高度が高い場合にのみ成り立つものである。) 水稻は、直立葉を主として構成される草型をしている。つまり、本結果で示されたように(図-3) 田面の相対光強度が日中に高く朝夕に低いのは、水稻のように直立葉で構成されるイネ科作物群落下での光環境の特徴であることが、理論的な考察からも示されたことになる。

この図が示すもう1つの特徴「光強度および相対光強度の最大値は、正午頃ではなく13:30頃に観測される例が多い」には、試験区の畝の方向が大きく関係している。本試験の試験区は、北東-南西方向の畝立てになっており、観測当日に太陽の方位角が南西方向になる時刻が13:22

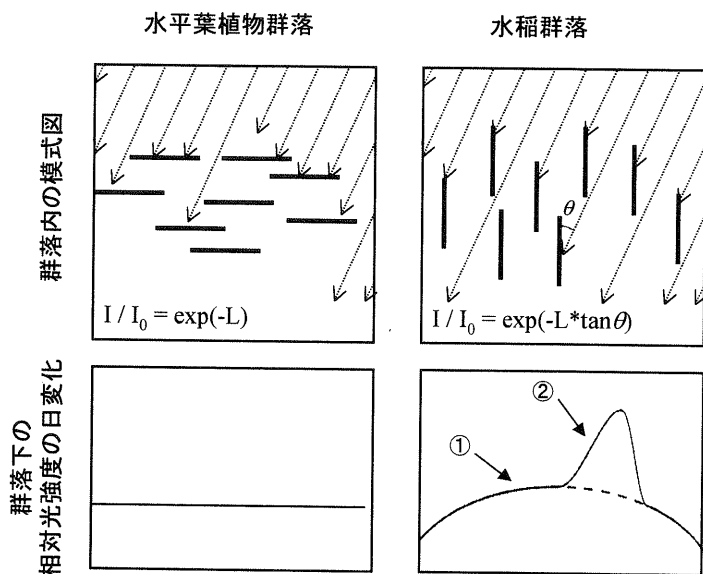


図-4 単純化したモデル (Poisson's model) によって推定される、植物群落内への光の到達 (模式図) (上段), および群落下での相対光強度の日変化の概要 (下段)。

上段の図中、矢印は光を、太線は個葉を、それぞれ表す。

水平葉で構成される植物群落下 (左下) では、群落下の光強度は全天光強度に比例して増減し、相対光強度は一日を通して一定である。

一方、水稻群落下 (右下) では、直立葉の植物群落に特徴的な相対光強度の日変化 (日中は高く、朝夕は低い) (①) に加えて、太陽の方位角が畝方向と一致する時間帯 (本試験では、13:22の前後) に一時的な相対光強度の上昇 (②) が生じる。

であることを、理論的な太陽の軌道の計算によって確認した。つまり、この時間帯に、太陽の方角が畝の方向と一致し、一時的に多くの直射日光が畝間に射し込み、光強度、相対光強度ともに高くなったものと推測される。

なお、南京11号の群落においては、他の3品種とは異なり、畝間の光強度は正午付近に最大値を示した。南京11号は、indica型の品種であり、普通のjaponica型の品種と比べて、横に広がり、畝間を被陰しやすい、特徴的な草型の品種である。この草型の違いが、他の品種とは異なる畝間の光環境の日変化をもたらしたと考えられる。水稻品種と競合雑草の生育については、関東の水田で小荒井(1999)らがコナギを用いて、東北の水田で橘ら(2000)がタイヌビエを用いて圃場試験を実施している。いずれの結果も南京

11号のように生育初期から葉が水平に展開する水稻品種により、雑草の生育が抑えられるという結果を得ている。これらの報告と、本試験結果で得られた南京11号群落下の光環境とは、密接に関係していると考えられる。

本試験では、労力不足のため、畝方向を様々に変えて栽植した水稻栽培を行うことはできなかった。しかしながら、本試験の結果を基に若干の考察を加味することによって、水稻群落下の田面の相対光強度の日変化について、以下のことが容易に推測できる。「南北畝の水稻群落下の田面の相対光強度は、正午前後に著しく高くなり、朝夕には低い。対して、東西畝の場合は、朝夕に一時的に相対光強度が上昇するが、正午前後の相対光強度は、南北畝のそれに比べてずっと低い。」

3. 作物の畝方向と光環境との関係

最後に、「では、作物や雑草にとって、東西畝と南北畝のどちらがより高い日総受光量を獲得できるか？」と言ったたぐいの問題について、著者の知識の範囲内での知見を紹介する。この問題については、園芸作物等の畝幅の広い作物群落を対象とした、実測およびモデル研究が行われている(Allen, 1974, Baten et al., 1996, 岩切・稲山, 1974, Karlen and Kasperbauer, 1989, 蔵田ら, 1988)。これらの報告によれば、いずれの文献においても「作物による直射日光の受光率は、太陽の軌道が低い冬季には東西畝の方が高いが、太陽の軌道が高い夏季には南北畝の方が高くなる」という、同様な結果が得られている。このことは、立場を群落下の雑草に変えれば「群落下の雑草にまで到達する光量は、冬季には南北畝群落下の方が高いが、夏季には東西畝群落下の方が高くなる」ことを意味する。

もしこの結果が水稻群落でも同様に当てはまるのであれば、(水稻は夏作物であるので、)南北畝の方が水稻群落による受光率が高いため、単純に考えれば田面へ到達する光量が減ることによる雑草生長抑制能が期待できることになる。

しかし、水稻は、上記の畑作物・園芸作物とは群落構造が大きく異なる(直立葉である、畝幅が狭い、etc.)。このため、上記の結果が水田にもそのまま当てはまるかどうかは定かではなく、結論は出ていない。水田における適切な雑草防除を考える上で、田面の光環境に関する詳細な知見を得ておくことは重要なことである。しかしながら、水田田面での光環境について詳細に測定を行った研究は、まだまだ少ないのが現状である。今後の研究の発展が望まれる。

引用文献

- 1) Allen, L.H. Jr. 1974. Model of light penetration into a wide-row crop. *Agron. J.* 66: 41-47.
- 2) Baten, M.A., Kon, H. and Matsuoka, N. 1996. Spatial variability in micrometeorology at soil surface below a potato canopy with two row orientations. *J. Agric. Meteorol.* 52(4): 301-310.
- 3) 岩切敏・稲山光男 1974. 施設園芸作物の群落光合成に関する研究 (2) 畦栽培キュウリ群落内の日向葉面積率分布. *農業気象*30(1): 17-26.
- 4) Jones, H.G. 1992. *Plant and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*-2nd ed. Cambridge Univ. Press, New York, pp. 32-37.
- 5) Karlen, D.L. and Kasperbauer, M.J. 1989. Row orientation and configuration effects

- on canopy light spectra and corn growth. Appl. Agric. Res. 4: 51-56.
- 6) 小荒井晃・森田弘彦 1999. コナギに対する水稻の抑制力の差の光量子量による解析. 雑草研究44(別):202-203.
- 7) 蔵田憲次・岡田益己・佐瀬勘紀 1988. トマト群落の畝方位と直達光受光率 -魚眼レンズ撮影による解析-. 農業気象44(1):15-22.
- 8) Nishimura, S. and Itoh, K. 2003. Spatial heterogeneity and diurnal course of photon flux density on paddy field water surface under rice plant canopy. Weed Biol. Man. 3:105-110.
- 9) 橘雅明・渡辺寛明 2000. 草型の異なる水稻6品種とタイヌビエとの競合関係にみられる年次間差異. 雑草研究45(別):62-63.

「芝草用語事典」のご案内

1972年結成の日本芝草学会は創立30周年を記念して、本年6月に「芝草用語事典」を刊行した。芝生は人類が定住生活を営むようになってから人々の生活に深く根ざした存在であった。欧州では早くから固有の芝生文化を育ててきたが、わが国では和風庭園にその一端をみるものの、芝生が今日のように広く利用されるまでには長い年月を要した。

しかし、経済、文化活動の活性化に伴い、芝生の利用は着実に拡大し、庭園、公園、緑地はもとより、ゴルフ場、運動競技場、空港、河川、高速道路などに広く利用され、今日では校庭緑化や屋上緑化、さらには、農地の畦畔被覆植物としての利用も拡大しつつある。こうして、芝生は人間の快適な生活と環境に身近で必須の存在となったが、環境緑化などの自然生態分野まで包含して多方面に及ぶことになり、対象とする学術、専門用語は多岐に亘り、芝草科学は総合科学的な領域をも含まざるを得ない存在となった。そのようなことから「芝草用語事典」の刊行は、芝草研究者のみならず、産業界にとっても久しく待望されていたものであった。

そのため本事典には、芝草学会で必須な基礎的用語はもとより、関連する領域も視野に入れた幅広い用語も選択し、さらには科学の進歩に伴って生まれた新用語を含め、1,700余語を収録している。その構成は＜用語と解説＞、＜英文索引＞、＜参考資料＞からなり、各用語は日本語読仮名、用語、英訳名を並べた後、その解説が詳しく付されている。

本書は北村文雄氏を用語委員長とする17名の委員を中心に編纂されたものである。特に北村委員長はかつて長く文部省（現、文部科学省）の学術審議会学術用語分科会委員（主査）の任にあり、「文部省、学術用語集、農学編」を纏められた経験をもとに、芝草科学を包含する他の領域の専門用語も精査され、編集委員長一谷多喜郎氏とともに心魂を傾けられ本書を刊行された。

本書は芝草研究のみならず関連科学領域の方々にとっても、大変参考になる「用語事典」である。是非、座右に置いて活用されることをおすすめしたい。

（宇都宮大学 竹内安智）

■ A5判、250ページ、上製本、ビニルカバー 定価 5,000円（税別）

■ 購入希望の方は下記まで御連絡下さい。

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6 植調会館内

日本芝草学会 ☎03-3834-6385 FAX 03-3834-6888

E-mail: jsts@tctv.ne.jp