

水耕栽培における生育期別のフッ素処理とイネの生育との関係

山内正見^{*,1)}・吉田弘一²⁾・谷山鉄郎¹⁾・梅崎輝尚¹⁾・長屋祐一¹⁾

(¹⁾三重大学・²⁾松阪大学)

要旨: フッ素濃度を 50 ppm に調整した水耕液で分げつ盛期および幼穂形成期の 10 日間処理によって、栄養生長期と生殖生長期のフッ素処理がイネの生育および収量に及ぼす影響について検討した。その結果、いずれの生育期のフッ素 10 日間処理も最終分げつ数を抑制した。とくに幼穂形成期のフッ素処理は著しい分げつ数の減少をもたらした。籾、葉身、葉鞘（稈を含む）および根の生長に及ぼす影響はあきらかで、フッ素によって乾物重は減少した。分げつ盛期処理よりも幼穂形成期処理で、すべての器官の乾物重は減少した。1 株当り穂数、1 株当り籾数および 1 穂籾数に及ぼすフッ素の影響は顕著であったが、いずれも分げつ盛期処理より幼穂形成期処理で低下は著しかった。1 株当り穂数、1 株当り籾数および 1 穂籾数と籾重に有意な関係がみられた。イネの生育および収量に及ぼすフッ素の影響は栄養生長期と生殖生長期で異なることを明らかにした。

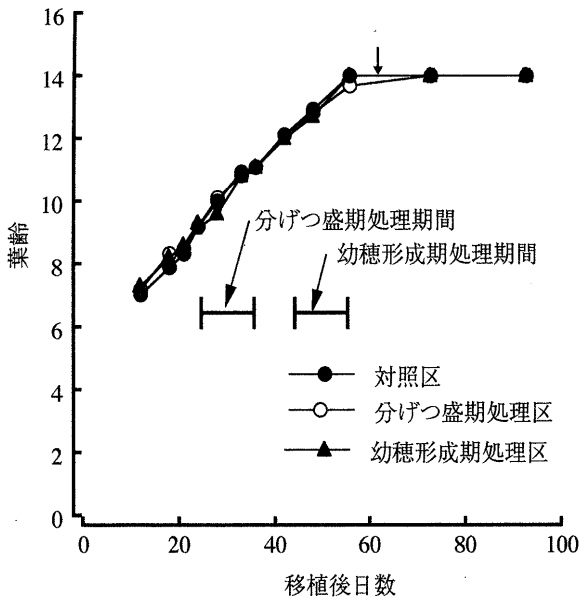
キーワード: イネ、水耕栽培、生育、生育期、フッ素。

大気汚染物質としてのフッ素のイネに及ぼす影響は以前から報告されている（山添 1962, 松岡ら 1972, 勝見 1984）。また、水溶液中のフッ素について半野・松崎（1988）は千葉県内の IC 製造関連の工場排水を調査し、工場の放流水中に 3~14 ppm のフッ素が含まれていることを示した。これらの工場排水や放流水中のフッ素によって河川、かんがい水ひいては土壌への汚染が危惧される。山添（1962）は水耕栽培による根から吸収されるフッ素処理（フッ素 20 ppm, 20 日間処理）でイネの葉身、葉鞘および根の乾物重が減少することを認めた。著者らは既報（山内ら 2000 a）においてフッ素濃度が 0~50 ppm の 7 水準に調整した水耕液でコシヒカリを栽培し、イネの生育に及ぼすフッ素の影響を検討した。その結果、5 および 10 ppm のフッ素はイネの出葉、草丈および分げつ数を抑制し、1 株当り穂数、1 株当り籾数もフッ素によって大きく減少することを示した。また、籾、葉身、葉鞘（稈を含む）および根の生長に及ぼすフッ素の影響は顕著であった。さらに前報（山内ら 2000 b）でフッ素濃度が 0~6 ppm の 4 水準に調整した水耕液でコシヒカリを栽培し、イネの生育に及ぼすフッ素の影響を検討した。その結果、2 ppm のフッ素はイネの草丈および分げつを抑制し、1 株当り穂数および 1 株当り籾数も減少した。収穫期における籾、葉身、葉鞘（稈を含む）および根の乾物重はフッ素によって明らかに減少した。根から吸収されたフッ素は根部だけでなく、玄米を含むすべての器官に蓄積されることを示した。このように、フッ素はイネの栄養生長に影響を及ぼし、分げつ数、1 株当り穂数および 1 株籾数の減少をもたらすことを著者らは明らかにしてきた。著者らのこれまでの水耕栽培実験はイネの全生育期間フッ素処理実験であったが、本実験では水耕栽培のイネを供して栄養生長期と生殖生長期の 10 日間に絞って培養液にフッ素を添加する処理を行い、フッ素が栄養生長期と生殖生長期に及ぼす影響を検討した。

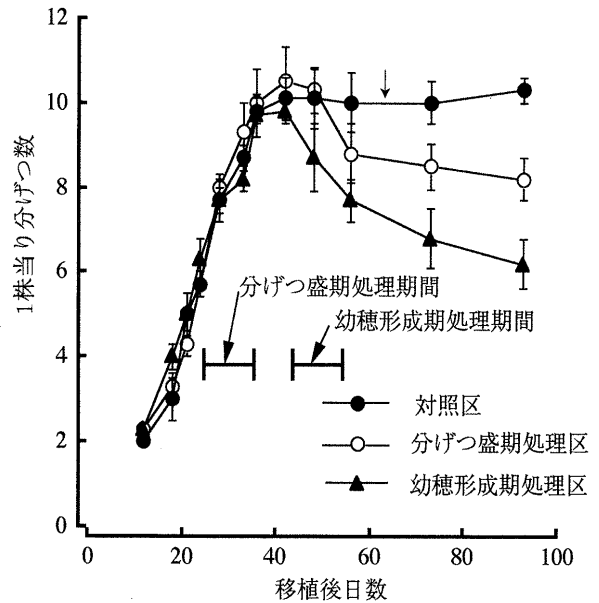
材料と方法

1. 水耕栽培とフッ素処理方法

水稻品種コシヒカリを供試してみえるポット（プラスチック製：縦×横×高さ=62.0×31.5×2.5 cm, 1 箱 448 穴, 穴の直径：上 16 mm, 下 13 mm, 高さ 25 mm）を用い、1992 年 5 月 1 日に 1 穴 1 粒ずつ播種し、ガラス室内で栽培した。同年 5 月 30 日に生育の揃った 5.5 葉苗を、30×30×25 cm（縦、横、高さ）の木枠にビニルを張りつめ、厚さ 3 cm の発泡スチロールのふたをかぶせた水耕槽に、1 株 1 本植で 1 水耕槽当り 5 株を移植し、1 区 3 水耕槽の 3 反復で水耕栽培をおこなった。水耕液は春日井（1939）の春日井氏 A 液を一部改変したものを基本培養液として用いた。水耕液は生育ステージにあわせて、井上ら（1982）の方法にしたがって基本培養液を 1~8 倍に希釈して用いた。水耕液の更新は 4~5 日に 1 回とした。フッ素処理時期は栄養生長期として分げつ盛期と生殖生長期として幼穂形成期の 2 処理区とした。すなわち、分げつ盛期処理区は移植後 25 日目の 6 月 23 日から移植後 34 日目の 7 月 2 日まで 10 日間、幼穂形成期処理区は移植後 42 日目の 7 月 10 日から移植後 51 日目の 7 月 19 日まで 10 日間フッ素処理を行った。対照区の主稈の幼穂が 1.5~2.0 cm に達したことを確認した後、幼穂形成期のフッ素処理を開始した。フッ素処理は 120×60×30 cm（縦、横、高さ）の木枠にビニルを張りつめた水耕槽を用いた。水耕液のフッ素濃度はフッ化水素酸を添加し、フッ素として 50 ppm (w/w) に設定した。フッ化水素酸を溶かした水耕液は 1 N NaOH で pH 5.0~5.5 に調整した。さらに水耕液中のフッ素濃度を測定し、所定の濃度であることを確認した。水耕液中のフッ素の定量方法はイオンメータ（東亜電波工業製、IM-40 S 型）を用い、イオン電極法（JIS K 0102 1986）によって定量した。フッ素処理期間終了後は直ちにフッ素を含まない培養液に置換し水耕栽培を続けた。



第1図 イネの出葉経過に及ぼす生育時期別フッ素の影響。
 図中の縦棒は標準誤差を示し、値の小さいものは記号の大きさ以下で、記号の中に隠れている。図中の横棒はフッ素処理期間を示す。
 ↓は出穂期を示す。



第2図 イネの分けつ数の推移に及ぼす生育時期別フッ素の影響。
 図中の縦棒は標準誤差を示す。図中の横棒はフッ素処理期間を示す。↓は出穂期を示す。

第1表 イネの収穫期における器官別乾物重に及ぼす生育時期別フッ素の影響。

	器官			
	籾 (g/株)	葉身 (g/株)	葉鞘 (稈を含む) (g/株)	根 (g/株)
対照区	12.1 ± 1.1a	3.9 ± 0.2a	10.0 ± 1.1a	3.8 ± 0.5a
分けつ盛期処理区	7.8 ± 1.1b	2.5 ± 0.3b	6.3 ± 1.2b	2.5 ± 0.3b
幼穂形成期処理区	0.4 ± 0.2c	2.0 ± 0.4c	3.2 ± 0.8c	1.5 ± 0.2c

数字は平均値±標準誤差 (n=3) を示す。

同一文字を付した値の間には5%水準で有意差のないことを示す (Shefféの多重検定による)。

2. 測定項目と方法

主稈葉数、草丈および分けつ数は移植後11日目の6月10日から調査を開始し、その後ほぼ7~10日間隔で測定した。移植後93日目の8月30日に収穫後乾物重を測定した。イネは籾、葉身、葉鞘(稈を含む)および根の各部分に分け、約80℃で30分、約65℃で48時間以上通風乾燥し、デシケータで放冷後乾物重を測定した。ただし、葉身および葉鞘(稈を含む)については枯死したものは除外した。各処理区の値はShefféの多重検定を行い評価した。

結 果

1. イネの生育に及ぼす生育期別フッ素の影響

イネの出葉経過に及ぼす生育時期別フッ素処理の影響を第1図に示した。出穂は移植後57~59日目の7月25~27日であった。生育期別のフッ素処理による出穂期への影響は認められなかった。出葉経過は対照区とフッ素処理区間に差はみられなかった。

イネの分けつ数に及ぼす生育時期別フッ素処理の影響を第2図に示した。分けつ数の推移に及ぼすフッ素処理の影響は明らかで、いずれの処理区も最高分けつ期以降に分けつ数の減少が認められた。とくに幼穂形成期処理区の分けつ数はフッ素処理開始から急激に少なくなり、分けつの枯死が認められた。移植後93日目の分けつ盛期処理区では対照区の80%まで、幼穂形成期処理区では60%まで抑制された。

2. イネの生育量に及ぼす生育期別フッ素の影響

イネの収穫期における生育期別フッ素処理の器官別の乾物重を第1表に示した。籾重は分けつ盛期処理区で対照区に比べ有意に低下し、幼穂形成期処理区では対照区の3%と著しく低下した。籾を含むすべての乾物重は対照区>分けつ盛期処理区>幼穂形成期処理区と有意に減少した。とくに幼穂形成期処理区の葉身、稈および根の乾物重は対照区の51%、32%および39%と有意に低下した。収穫期に

第2表 イネの1株当たり穂数, 1株当たり籾数および1穂籾数に及ぼす生育時期別フッ素の影響.

	1株当たり穂数	1株当たり籾数	1穂籾数
対照区	10.1 ± 0.9a	766.1 ± 78.7a	75.5 ± 1.7a
分けつ盛期処理区	8.1 ± 0.8b	475.0 ± 59.6b	59.3 ± 6.0b
幼穂形成期処理区	3.4 ± 1.2c	61.7 ± 19.6c	17.8 ± 4.1c

数字は平均値±標準誤差 (n=3) を示す.

同一文字を付した値の間には5%水準で有意差のないことを示す (Shefféの多重検定による).

における1株当たり穂数, 1株当たり籾数および1穂籾数を第2表に示した. 1株当たり穂数, 1株当たり籾数および1穂籾数は対照区>分けつ盛期処理区>幼穂形成期処理区と有意に減少した. 幼穂形成期処理区の1株当たり穂数, 1株当たり籾数および1穂籾数は対照区の34%, 8%および24%と有意に減少した.

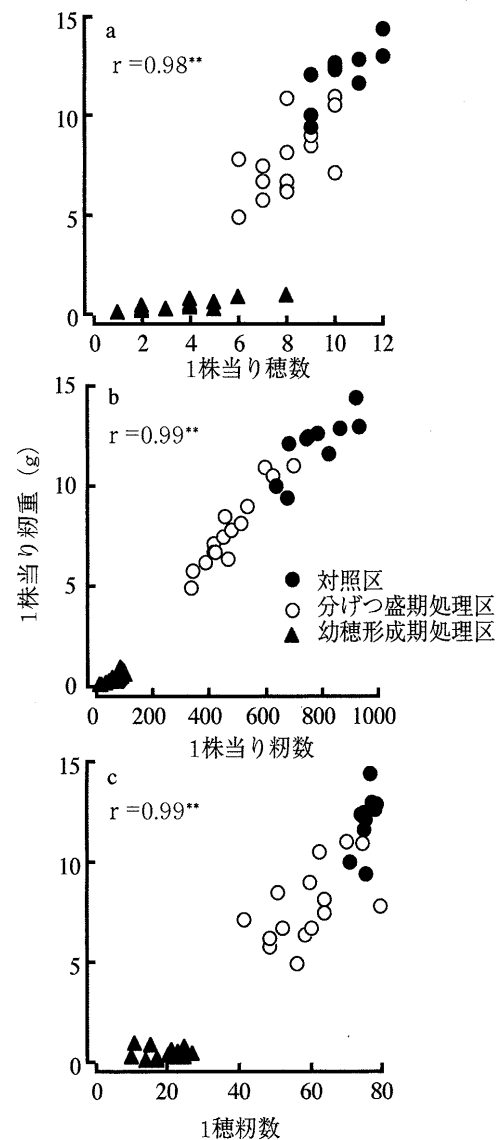
3. イネの1株当たり穂数, 1株当たり籾数および1穂籾数と1株当たり籾重の関係

イネの1株当たり穂数, 1株当たり籾数および1穂籾数と1株当たり籾重の関係を第3図に示した. 1株当たり穂数, 1株当たり籾数および1穂籾数と1株当たり籾重の間にはそれぞれ $r=0.98$ (第3図a), $r=0.99$ (第3図b) および $r=0.99$ (第3図c) (ともに $p<0.01$) と有意な相関が見られた. このように10日間の生育期別フッ素処理によって, イネの生育に及ぼすフッ素の影響は栄養生長期と生殖生長期によって異なり, 生殖生長期の処理で生育抑制が著しいことが明らかになった.

考 察

本実験では, 分けつ盛期の10日間 (移植後25日から34日目) をフッ素50 ppm含む培養液で培養した分けつ盛期処理区と, 幼穂形成期の10日間 (移植後42日から51日目) フッ素50 ppmを含む培養液で培養した幼穂形成期処理区の2処理区で, 生育期別フッ素のイネの生育に及ぼす影響を検討した. その結果, フッ素処理区の分けつ数は最高分けつ期以降の減少が大きく対照区に比べて明らかに低下したが, 分けつ盛期処理区より幼穂形成期処理区の低下が大きかった.

分けつ盛期処理区の分けつ数は処理開始後も増加し, 処理開始20日の最高分けつ期以降に減少した. 著者ら (山内ら 2000 a) は全生育期間のフッ素処理による分けつ数に及ぼすフッ素の影響を検討した. 移植後すなわち処理開始後20日目以降すべてのフッ素処理区で分けつ数は増加した. フッ素50 ppmでも20日目以降分けつ数の増加の傾向を示したことから, 分けつ盛期のフッ素処理では処理後の分けつの発生には顕著な影響はみられないものと考えられた. 一方, 幼穂形成期のフッ素処理によって分けつ数



第3図 1株当たり穂数, 1株当たり籾数および1穂籾数と1株当たり籾重との関係.

は急激に低下した. 最高分けつ期を過ぎて, この時期の弱小な分けつがフッ素によって枯死したものと考えられた. このように栄養生長期と生殖生長期では分けつ数に及ぼすフッ素の影響は異なるものと考えられた.

1株当たり穂数, 1株当たり籾数および1穂籾数はいずれも対照区より減少したが, 分けつ盛期処理区より幼穂形成期

処理区の減少が著しかった。収穫期の籾、葉身、葉鞘（稈を含む）および根の乾物重は対照区より低下したが、いずれも分けつ盛期処理区より幼穂形成期処理区の低下が大きかった。

1株当り穂数および1株当り籾数と1株当り籾重の間に有意な関係が認められた。フッ素処理によって収穫時の生育量が低下したのは、分けつ数が抑制されて1株穂数が減少したことによると考えられた。1穂籾数と1株当り籾重とも有意な関係が認められた。フッ素は穎花の形成を抑制し、1穂籾数の減少をもたらすので、フッ素は生殖生長にも著しい影響を及ぼすと考えられた。

山添（1962）は土耕実験でフッ素ガス濃度およびガス処理の時期とイネの収量との関係を明らかにした。それによると活着期、分けつ最盛期、幼穂形成期および開花期にそれぞれ50、500および2000 ppmのフッ化水素を午前中1時間接触させた。その結果、接触ガス濃度に比例して玄米重は減収し、ガス処理の時期では開花期>幼穂形成期>活着期・分けつ最盛期の順で被害は大きかった。開花期のガス接触によって1株穂数および1穂籾数への影響は認められなかったが、登熟歩合は著しく低下した。これは開花期のガスによる受精障害などによって、多量の不稔を生じるためと推察している。

谷山・澤中（1973）は土耕実験で亜硫酸ガス濃度およびガス処理の時期とイネの収量との関係を明らかにした。それによると減数分裂期と出穂開花期にそれぞれ0.5、2および5 ppmの亜硫酸ガスを1日8時間連続10日間接触させた。その結果、玄米収量は接触ガス濃度に比例して減収し、出穂開花期処理の方が減数分裂期処理よりも被害は大きかった。出穂開花期処理の減収はガス処理によって不受精が多く、登熟歩合が低下したことが原因と考えられた。減数分裂期処理の減収は1穂穎花数と玄米千粒重の低下が原因としている。フッ素を用いてガス処理をおこなった山添（1962）および谷山・澤中（1973）の実験では開花期処理の被害が大きかった。ガス処理によって受精が阻害され、登熟歩合が低下し、収量が低下したのと考えられた。幼穂形成期のフッ素ガス接触は、1株あたりの穂数の減少、1穂籾数の減少および登熟歩合の低下が収量の低下をもたらした（山添 1962）。減数分裂期の亜硫酸ガス接触

は1穂穎花数と玄米千粒重の低下をもたらした（谷山・澤中 1973）。

著者ら（山内ら 2000 a, b）は一連の培養液中にフッ素を含む水耕実験によって、フッ素はイネの生育とりわけ栄養生長に影響を及ぼすことを明らかにしてきた。本実験において、対照区の主稈の幼穂が1.5~2.0 cm 形成されたことを確認ののち幼穂形成期のフッ素処理を開始した。この時期は穎花が形成され、花粉母細胞の形成時期に当たると考えられる（星川 1975）。フッ素はすでに形成されたと考えられる穎花や花粉などの発達を阻害し、1穂籾数の著しい減少をもたらしたのと考えられた。

以上のことから、根から吸収されたフッ素によってイネの生育、特に幼穂の発達は阻害を受けることが明らかとなった。その阻害は分けつ盛期処理より幼穂形成期処理で影響が著しいと考えられた。

謝辞：本研究を遂行するにあたって実験にご協力いただいた山下敦史氏に対し、深甚の謝辞を申し上げます。

引用文献

- 半野勝正・松崎淳三 1988. 先端産業事業場排水実態調査. 千葉県水保研年報 55-60.
- 星川清規 1975. イネの生長. 農文協, 東京. 220-232.
- 井上吉雄・森脇勉・栗原浩 1982. 水稻における根部の発達およびアンモニア態窒素の吸収部位と体内分布の関係. 日作紀 51: 492-498.
- 春日井新一郎 1939. 水耕法に関する研究. 土肥誌 13: 669-822.
- 勝見太 1984. 大気中, 低濃度フッ化水素の植物影響に関する研究. 福井農試特別報告 8: 1-89.
- 松岡義浩・高崎強・宇田川理 1972. フッ素系大気汚染による水稻葉中のフッ素集積について. 千葉県農試報 12: 52-62.
- 谷山鉄郎・澤中和雄 1973. 作物のガス障害に関する研究. 第11報 亜硫酸ガスの長期間接触が水稻の子実生産に及ぼす影響. 日作紀 42: 143-147.
- 山内正見・吉田弘一・谷山鉄郎・梅崎輝尚・長屋祐一 2000a. 水耕栽培における培養液中のフッ素濃度とイネの生育との関係. 日作紀 69: 242-246.
- 山内正見・吉田弘一・谷山鉄郎・梅崎輝尚・長屋祐一 2000b. 水耕栽培における培養液中のフッ素濃度とイネの生育およびフッ素含量との関係. 日作紀 69: 530-534.
- 山添文雄 1962. フッ化水素による煙害の実態ならびに機作に関する研究. 農技研報 B12: 1-125.

Effect of Fluorine Added to the Culture Solution at Various Growth Stages on the Growth of Rice Plants: Masami YAMAUCHI^{*1)}, Hirokazu YOSHIDA²⁾, Tetsuro TANIYAMA¹⁾, Teruhisa UMEZAKI¹⁾ and Yuichi NAGAYA¹⁾ (¹⁾Mie Univ., Tsu, 514-8507, Japan; ²⁾Matsusaka Univ.)

Abstract: The effect of fluorine (HF) added to the culture solution on the growth of *Oryza sativa* L. cv. Koshihikari was investigated. HF was added to the culture solution at 50 ppm for 10 days at the active-tillering and panicle formation stages. The number of stems per hill was decreased by fluorine added, either at the tillering or panicle formation stages, especially by the fluorine treatments at the panicle formation stage. The dry weights of unhulled rice, leaves, leaf sheath (culm included), and roots were markedly decreased by the fluorine treatment. The number of ears per hill and the grains per hill were also decreased by fluorine. Thus, the dry weight of all organs, the number of ears per hill, and the number of grains per hill were decreased by the fluorine treatment at the panicle formation stage more severely than that at the active-tillering stage. A significant correlation was recognized between the number of ears per hill, the number of grains per hill and weight of unhulled

rice. It was found that the effect of fluorine on the growth and yield of rice plants when given at the vegetative stage were different from that given at the reproductive stage.

Key words : Fluorine, Growth, Growth period, Rice plant, Solution culture.

書 評

「耕地環境の計測・制御」早川誠而, 真木太一, 鈴木義則 編著. 養賢堂, 東京. 2001年, 265頁, 3800円.

この本は, 日本農業気象学会耕地気象改善部会の約10年間の活動から生まれたものである. 同部会は, この間, 研究会の開催, 学会誌への報告等活発に研究活動を進めてきた. このたび, その活動の成果がこのような形でまとめられたことは, 研究成果の社会への還元という観点からもよろこばしい.

この本は, 1. 地球温暖化と植物生産, 2. 耕地環境の計測と評価, 3. 非破壊・被接触による耕地環境の計測・評価, 4. 新しい情報システムの利活用, 5. 耕地環境の制御・改善事例, 6. 近年の耕地気象災害, の6章から構成されている. 内容的には計測・情報関係を取り扱った第2, 3, 4章が本書の中心で, それに第5章の制御関係の事例紹介が付け加わっているとみることができる.

この本のねらいは, 食糧生産の中心的な場である耕地の環境を計測という観点から, 専門家以外の関係者にも広く理解してもらおうとすることにある(まえがき). そのため, 単に個々の環境要素の測定法を羅列するのではなく, なぜそれを測定する必要があるのか, 他の要素との関係はどうかといったことを「評価法」と題して解説している. 「役立つ新しい解説書」という副題にかなった本書の大きな特色である. しかし, 各章や項の構成がこの観点にそって十分整理されていないため, その意図が達成されているとは言い難い. また, 解説はあっても, 測定法については殆どふれられていない要素もある. たとえば, せっかく耕地生態系における窒素循環の分かりやすい説明(2. 2. 8)がありながら, 作物生産上重要な窒素や地球環境問題との関連からも重要なメタンフラックスの測定が取り上げられていない. 同様に, 水分量とエネルギー状態(水ポテンシャル)の記述(2. 2. 7)がありながら, 後者の測定法には殆ど触れていない. なお, 本書でもペンマンに始まる「組み合わせ法」が取り上げられていない. この考え方は, すでに半世紀以上も前から, 地表面近傍の物理環境の成立機構を最も明解にかつ統一的に説明する理論として確立されてきた. しかし, 我が国のテキストにはいまだにこの重要な考え方とそれに基づく測定法を正確に分かりやすく紹介したものがないのはどうしてだろうか.

第5章はこの本のタイトルからいえば第2の主題である. したがって, ここでも制御, 改善技術を環境形成のメカニズムと関連させて記述することが意図されている. しかし, 方法や資材の個別的記載にとどまり, 「木はみえても, 森が見えない」ところが散見される. さらに, 冷害と関連して重要な水田水温の調節など幾つかの重要な技術が抜け落ちている. 以上に必要なスペースは第6章を削ってあてればよい. 第6章は, 他の章との脈絡が弱く, 付け足しの感がいなめないからである.

第1章も本書のテーマからして木に竹をついだ感がある. ここでは, 後続の各種の計測を作物生産の視点から鳥瞰するため, 放射の到達から始まって, 耕地の熱環境, 水文循環, 物質循環の成立過程を統一的, 包括的に解説した記述がほしかった. もし, このままで本書の導入部とするならば, 以下の章では「温暖化する耕地環境」の計測・制御に焦点をおくのが筋であろう. すなわち, 例えば, 温暖化はどのような観測によって根拠づけられるのか, 耕地は温暖化にどのような影響を及ぼしているのか, 作物の温暖化環境への応答はどう検出するかなどなどの計測に関する問題, さらに耕地における種々の温暖化対策などが取り上げるべき内容となる.

以上のように, 本書は部会活動を網羅しようとしたせいも, 内容が多岐にわたりすぎたきらいがある. その上, 難易, 構成が著者あるいは項ごとにまちまちであるため, ねらいが拡散し, 編著者の意図が貫徹しているとはいえない. しかし, 個々の記述はそれぞれに有用である. 本書によって, 温度や放射といった耕地における物理環境の基本的な測定法を学ぶことができる. また, リモートセンシングなど最新の計測法も分かりやすく紹介されている. 特に, メッシュ気象情報などの新しい気象情報に重点をおいた第4章, それに, 情報活用の一例である適地・適作期推定法(5. 1)は, 具体的でわかりやすく, 普及行政, 営農家にとっても有用であろう. 第5章には, また, 寒さ暖かさの制御と暑熱対策など, 耕地環境制御に関する極めて実際的で興味深い最新の情報が紹介されている. 本書が, 多くの人々, 特に専門分野以外の関係者に活用されることを期待する.

(近畿大学 高見晋一)