九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

作物の群落構造と物質生産 : 受光およびCO_2拡散 : III.数種作物の群落構造とCO_2拡散の構成要因

広田, 修
九州大学農学部栽培学教室

武田, 友四郎
九州大学農学部栽培学教室

https://doi.org/10.15017/22241

出版情報：九州大學農學部學藝雜誌. 41 (3/4), pp.171-184, 1987-03. 九州大學農學部
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

九大農学芸誌(Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.)
第41巻 第3•4号 171-184 (1987)

作物の群落構造と物質生産一受光および CO_2 拡散一

III. 数種作物の群落構造と CO_2 拡散の構成要因

広田 修・武田 友四郎
九州大学農学部栽培学教室
(1986年12月9日受理)

Relationship between Canopy Architecture and Crop Production with Reference to Light and CO_2 Environment

III. Relations between Canopy Architecture and Construction Factors for CO_2 Diffusion in Some Crop Stands

OSAMU HIROTA and TOMOSHIRO TAKEDA
Laboratory of Crop Husbandry, Faculty of Agriculture,
Kyushu University 46-06, Fukuoka 812

緒言

作物の群落構造は群落内の光環境を規制していると同時に大気からの CO_2 輸送を通じて，植被内の CO_2 環境をも規制している．しかしながら，この面からの検討はその重要性は認められながらも (Duncan, 1971; Loomis and Williams, 1963), まだ十分ではない．本報では作物の群落構造と CO_2 拡散との関係を明らかにすることにより，CO_2 拡散に有利な群落構造について検討する．

作物の群落構造を特徴づけるものとして，草高，葉面積指数，葉面積の垂直分布，葉の大きさ（葉幅）および葉の傾きなどが挙げられる．一方，CO_2 拡散係数は空気力学的手法にしたがえば，風速 U，相対乱流強度 i および混合距離 l_m の積 ($D=U \cdot i \cdot l_m$) として表わされる．さらに，混合距離は抵抗係数の逆数に比例する ($l_m \propto 1/C_d$) (Kondo and Akashi, 1976)．したがつて，CO_2 拡散に有利な群落構造を明らかにするには群落を構成する上記の各要素と群落の CO_2 拡散の各構成要素との相互の関係が明らかにされる必要がある．

本報では群落構造を異にした，いくつかの作物個体群について，上記の拡散係数の構成要素と群落構造の関係について述べる．

材料および方法

1. 材料

風速の観測に用いた作物は，栽培ヒエ，陸稲，小麦，大豆，グレインソルガムの短・長稈系統および水稲である．これらの個体群の特徴を示せば，グレインソルガムの長稈系統の草高は他の作物の草高の約2倍であり，したがつて，葉面積密度が小さい．大豆は典型的な水平葉タイプである．また，葉面積の垂直分布が他の作物と異なり植被の上層で高いことも，この個体群の特徴である．

風速の観測に用いた作物名および栽培面積を表1に挙げた．抵抗係数の算出には植被上の風速分布を知る必要があるが，Table 1 の No. 1, 2, 5, 6 に示した作物では栽培規模が小さいので植被上の風速分布を得ることはできなかつた．したがつて，これらの個体群については抵抗係数の算出は行わず，風速の減衰係数のみを求めた．

2. 風速の測定法

直系 1 cm, 長さ 3 m の鉄製ポールを群落のほぼ中央にセットした．地上 3 m より順次下方に風速計をセットした．用いた風速計は熱線風速計（6点式アネモマスター (KANOMAX)）である．風速計からの電気信号はデータ•ロガー (TR2731. タケダ理研) に収録し

Table 1. Crops used for measuring wind speed in canopies.

No.	Crop	Variety	Year	Locate	Area m²
1	barnyard millet	———	1981	Kyushu Univ.	20× 20
2	upland rice	Hatakinumochi	〃	〃	〃
3	wheat	Asakaze	1982	Fukuoka Agric. Inst.	150×200
4	soybean	Fukuyutaka	〃	Saga Prefec. Kawazoe	200×200
5	grain sorghum (short type)	Plainsman	1982	Kyushu Univ.	20× 20
6	〃 (tall type)	〃	〃	〃	〃
7	grain sorghum (short type)	Plainsman	1983	Saga Prefec. Kawazoe	80× 40
8	〃 (tall type)	〃	〃	〃	〃
9	rice	Koganebare	1983	Saga Agric. Inst.	100× 60

た．風速の測定地点は植被の高さによつて変えた．

結果および考察

1. 各作物個体群の生産構造

Fig. 1 から Fig. 6 まで各作物個体群の生産構造を示した．草高，葉身の傾斜角および葉面積の垂直分布等により，これらの作物個体群は次のように類型化することができる．

草高はグレインソルガム（Fig. 4, 5）の長稈系統の 180～200 cm を除いて，他は 70～100 cm であり，作物間に大きな差はない．葉身の傾斜角については，大豆個体群（Fig. 3）は典型的な水平葉タイプである．葉面積密度は栽培ヒエ（Fig. 1）と大豆個体群では植被の上層で高く，陸稲（Fig. 1）と小麦（Fig. 2）では下層で高い．グレインソルガムの短・長の両系統および水稲個体群では葉面積の垂直分布は紡垂型をしている．

2. 植被内の風速の減衰係数

植被内の風速と植被面の風速との間には，

$$U(z) = U_h \exp[-\beta(1-z/h)] \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

ただし，$U(z)$，植被内の風速 cm/sec；U_h，植被面の風速 cm/sec；β，風速の減衰係数；z，h，それぞれ植被内の任意の高さ，植被面の高さ cm

の関係があることが知られている（Goudriaan, 1977; Inoue, 1963; Uchijima and Wright, 1964）．したがつて，群落構造と植被内の風速の関係は各々の群落における風速の減衰係数 β を比較することによつて明らかにされる．

Fig. 7 は植被内の任意の高さ（植被面の高さに対する相対値）に対して，風速（植被面の風速に対する相対値）を片対数グラフにプロットしたものである．植被内の高さ $(1-z/h)$ に対する風速 $(U(z)/U_h)$ の回

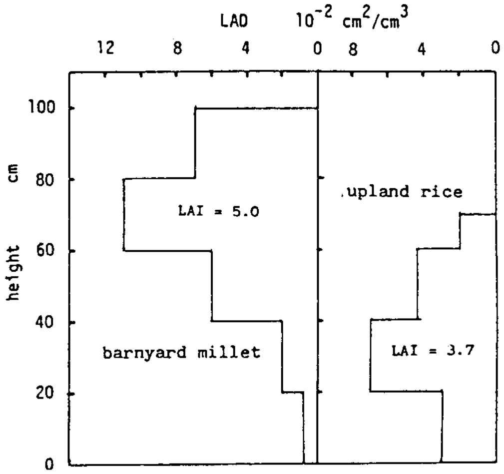

Fig. 1. Productive structure of barnyard millet and upland rice (var. Hatakinumochi) populations.

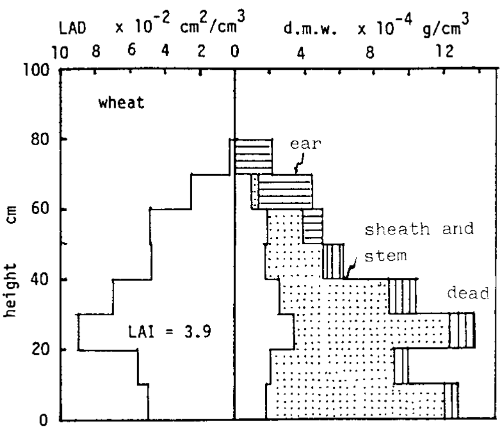

Fig. 2. Productive structure of wheat (var. Asakaze) population.

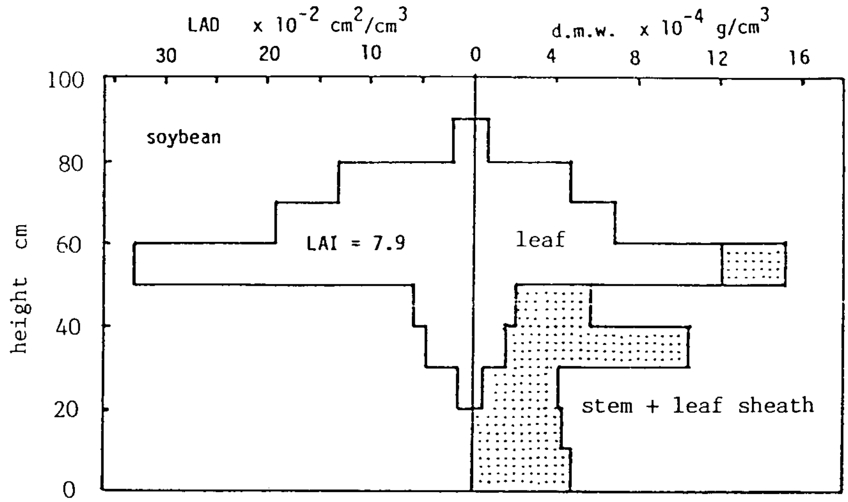

Fig. 3. Productive structure of soybean (var. Fukuyutaka) population.

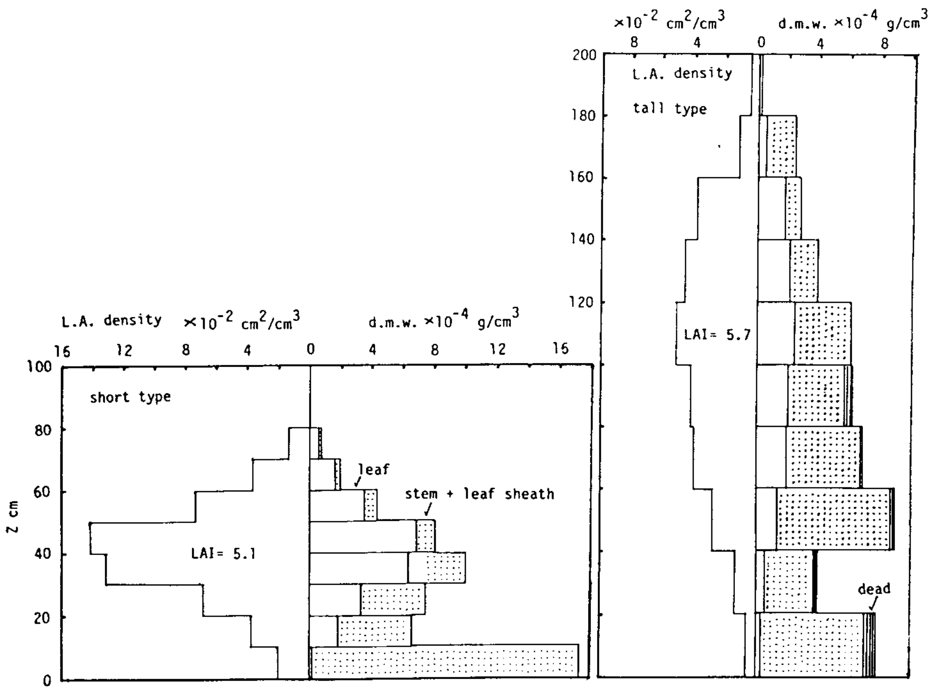

Fig. 4. Productive structure of grain sorghum (var. Plainsman) population. 1982.

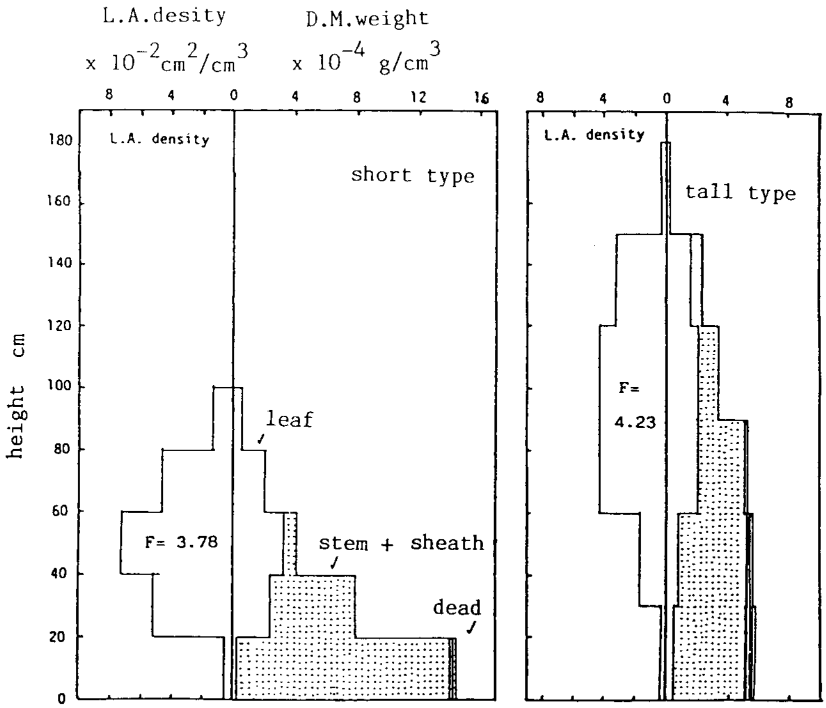

Fig. 5. Productive structure of grain sorghum (var. Plainsman) population. 1983.

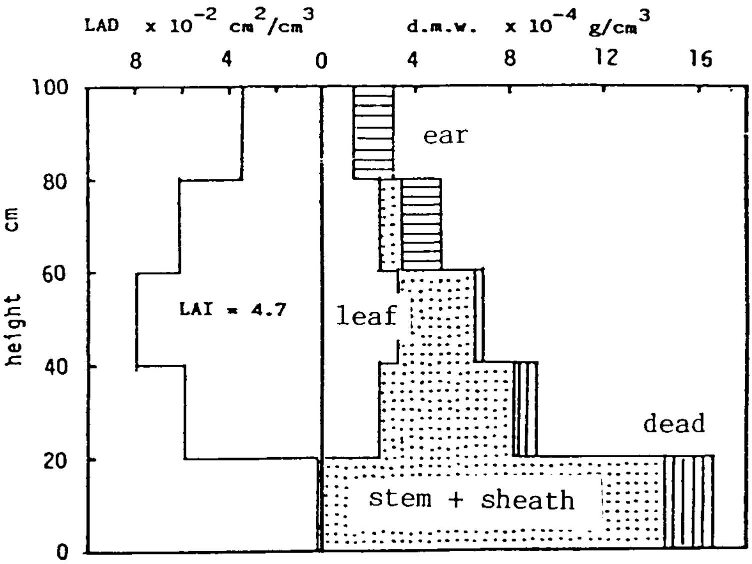

Fig. 6. Productive structure of rice (var. Koganebare) population.

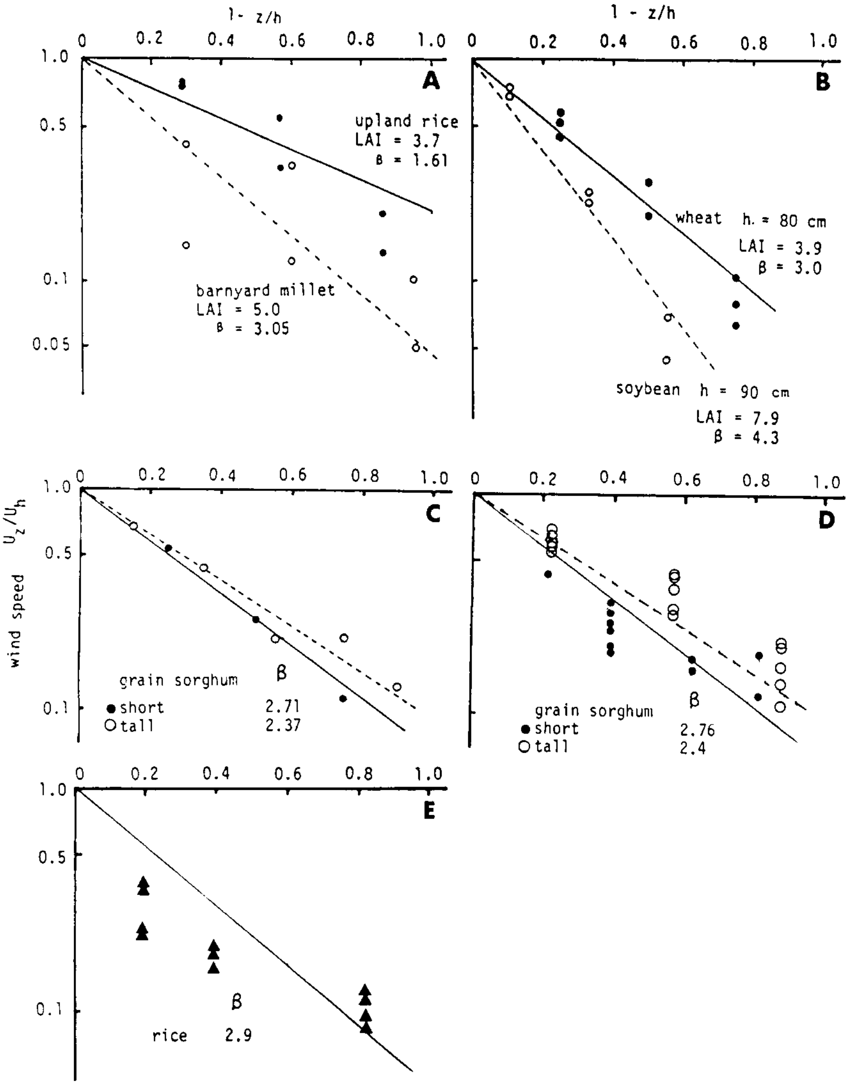

Fig. 7. Relationship between wind speed and height in different crop canopies.

帰式

$$\ln\frac{U(z)}{U_h} = -\beta\left(1-\frac{z}{h}\right)+b \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)'$$

ただし，b，定数

を用いて，統計的に風速の減衰係数 β を求めることができる．計算結果を図中に示し，さらに Table 2 にまとめた．Fig. 7 および Table 2 に示すようにグレインソルガムにおいては長稈系統は短稈系統に比べて，風速の減衰係数 β は小さい．これはいかなる理由によるものであろうか．Inoue (1963) によると β は，

$$\beta = h\left[\frac{C_d f_L}{2\,l_m^2}\right]^{1/3} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ただし，C_d，抵抗係数；f_L，葉面積密度 cm^2/cm^3；l_m，混合距離 cm

で表わされている．(2)式に示された葉面積密度 f_L に群落の平均的な葉面積密度として F_L/h を代入すると

$$\beta = h^{2/3}F_L{}^{1/3}\left[\frac{C_d}{2\,l_m^2}\right]^{1/3} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

ただし，F_L，葉面積指数

となる．また，Kondo and Akashi (1976) によると混合距離 l_m は植被の中央部では，

Table 2. Characteristics of foliage and attenuation coefficients of wind speed.

No.	Crop	LAI	Height cm	$\beta_{1)}$	$\beta'_{2)}$
1	barnyard millet	5.0	100	3.1	0.46
2	upland rice	3.7	70	1.6	0.51
3	wheat	3.9	80	3.0	0.80
4	soybean	7.9	90	4.3	0.37
5	grain sorghum (short type)	5.1	80	2.7	0.54
6	grain sorghum (tall type)	5.7	200	2.1	0.38
7	grain sorghum (short type)	3.8	100	2.7	0.42
8	grain sorghum (tall type)	4.2	180	2.4	0.32
9	rice	4.7	100	2.9	0.45

1) Attenuation coefficient of wind speed, estimated from relationship between relative canopy height and relative wind speed in the canopy [eq. (1) and eq. (1)′].
2) Attenuation coefficient of wind speed, estimated from relationship between downward cumulative LAI and relative wind speed in the canopy [eq. (6)].

$$l_m = \frac{4x^3}{C_d f_L} \quad \cdots\cdots(4)$$

ただし，x，Karman 定数0.4
で示されている．(4) 式を (3) 式に代入して整理すると，

$$\beta = \frac{1}{3.2x^2} C_d f_L h = \frac{1}{3.2x^2} C_d F_L \quad \cdots\cdots(5)$$

となり，減衰係数 β は葉面積指数 F_L と抵抗係数 C_d で表わされる．

葉面積指数と減衰係数 β の間には Fig. 8 に示すように，正の相関があり回帰直線が求められる〔Fig. 8 には堀江 (1981) がまとめたデータも記入した〕．しかしながら，Fig. 8 において回帰直線から離れたデータがみられる．すなわち，大豆個体群において β は推定値よりも高いが，グレインソルガムの長稈系統と陸稲個体群では推定値を下まわつている．この点について，以下で考察する．

(5) 式において減衰係数 β を決定づけている要因として，葉面積指数以外には抵抗係数 C_d がある．Thom (1968) は模擬葉を使つて個葉の抵抗係数を測定し，水平葉は抵抗係数が小さいことを報告している．した

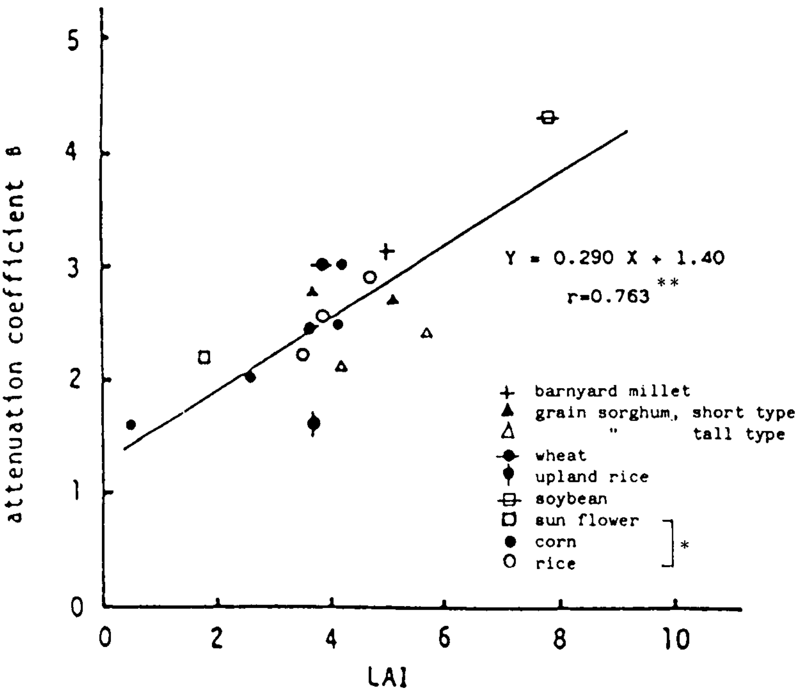

Fig. 8. Relationship between leaf area index and attenuation coefficients (β) of wind speed in different crop canopies. *, from Horie, T. (1981).

がつて，大豆個体群の減衰係数 β が大きいのは抵抗係数以外の要因が考えられなければならない．一方，陸稲個体群ではイネ科の他の作物よりも減衰係数 β は小さくなつているが，抵抗係数は他のイネ科作物と比較して大きく違わないと考えられるので，これも抵抗係数以外の要因が考えられなければならない．(1) 式から (5) 式の展開の過程で群落を構成する要因として，葉面積指数，草高および葉の傾き等を考慮したが（ただし，葉の傾きは便宜的に抵抗係数 C_d で表わされている），葉面積指数の垂直分布を考慮していない．すなわち，大豆個体群では植被の上層で葉面積密度が高い (Fig. 3) のに対し，陸稲個体群では植被の下層で密度が高い (Fig. 1) ことが上記の結果に関係していると考えられる．なお，小麦個体群においては陸稲個体群と同様に下層に葉が集中している (Fig. 2) にもかかわらず，減衰係数が大きくなつている．これは Fig. 2 に示すように出穂による影響があつたものと考えられる．

さて，Inoue (1963) および Goudriaan (1977) の植被内の風速モデルに用いられた風速の減衰係数 β に組込まれていないが，群落構造の重要な決定要因である葉面積密度が減衰係数 β に及ぼす影響について調

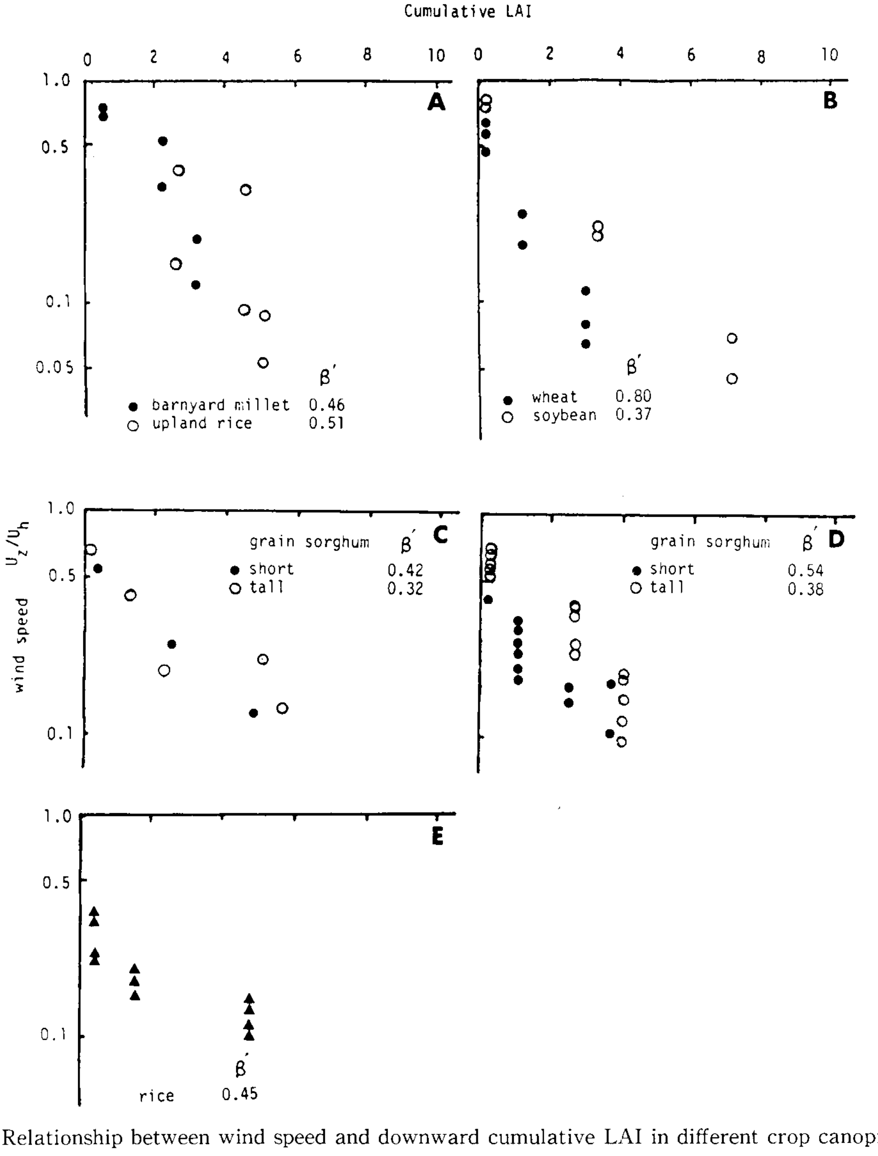

Fig. 9. Relationship between wind speed and downward cumulative LAI in different crop canopies.

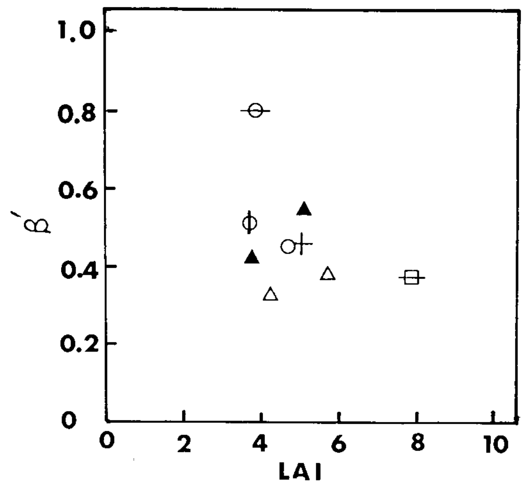

Fig. 10. Relationship between leaf area index and attenuation coefficient (β') of wind speed in different crop canopies. Symbols are the same as in Fig. 8.

べる．Oikawa (1978a) は植被内の風速の減衰をもたらす主な要因は葉面積であることから，植被面から下向きに測つた積算葉面積指数と風速との間に，

$$U_F = U_h \exp(-\beta' F) \cdots\cdots(6)$$

ただし，β'，減衰係数；F，積算葉面積指数；U_F，F における風速

の関係を導いている．β' は風速の減衰係数であるが，(1)式における減衰係数 β と異なり，積算葉面積指数と風速の関係から求められる．したがつて，減衰係数 β' は高さ方向の葉面積の分布とは無関係に求められるものである．Fig. 9 において減衰係数 β' を求めた．試みに β' を葉面積指数に対してプロットすると，予期したように両者の間には何らの相関も示していない (Fig. 10)．しかしながら Fig. 8 において大きな減衰係数 β を示した大豆個体群では，減衰係数 β' はむしろ小さな値となつている．したがつて，葉面積の垂直分布が風速の減衰係数 β に関係していることは明らかであろう．なお，Rauner (1976) は広葉樹の群落において，(6)式から求められる減衰係数 β' は 0.25～0.35 であることを報告している．これは本研究における広葉型の大豆個体群について得られた 0.37 とほぼ近い値といえる．

つぎに問題となるのは Fig. 8 に示したグレインソルガムの長稈系統の減衰係数 β が小さい理由である．葉面積の垂直分布は他の作物と同様に，グレインソルガムの長稈と短稈系統は共に紡垂型をしているので，このことは理由にならない．その証拠として，Fig. 10 に示したように葉面積指数に対する風速の減衰係数 β' も小さい．減衰係数 β は (5) 式に示したように葉面積指数のほかに抵抗係数 C_d が関係している．Fig. 10 に示した，葉面積指数に対してプロットした場合の風速の減衰係数 β' はグレインソルガムの長稈系統と大豆個体群で小さい．(5) 式に従えば，グレインソルガムの長稈系統と大豆個体群では抵抗係数 C_d が小さいことを予想させる．つぎに抵抗係数について検討する．

3. 抵 抗 係 数

群落における葉身の風に対する抵抗係数 C_d は植被上および植被内の風速の垂直分布ならびに葉面積密度の垂直分布から求められる．以下で抵抗係数の算出法を簡単に説明する．

植被内の風に対する単位空間あたりの抵抗力 $D_f(z)$ (drag force) は，

$$D_f(z) = \rho C_d(z) f_L(z) U^2(z) \cdots\cdots(7)$$

ただし，$D_f(z)$，抵抗力 g cm/cm^{3}sec^2；ρ，空気密度 g/cm^3

で表わされる．いま，群落内の風によつて生じる剪断力 (shearing stress) を $\tau(z)$ とすれば，$D_f(z)$ と $\tau(z)$ の間には，

$$\frac{d\tau(z)}{d(z)} = -D_f(z) \cdots\cdots(8)$$

の関係が成り立つ．したがつて，(7) 式と (8) 式より，

$$\tau(z) = \tau_h - \rho \int_z^h C_d(z) f_L(z) U^2(z) dz \cdots\cdots(9)$$

が得られる．ただし，τ_h は Reynolds 応力であり，

$$\tau_h = \rho U_*^2 \cdots\cdots(10)$$

ただし，U_*，摩擦速度 cm/sec

で定義されている．

ここで，摩擦速度 U_* は植被上の風速 $U(z)$ と高さ z との間に成り立つ，

$$U(z) = \frac{U_*}{\chi} \ln \frac{z-d}{z_0} \cdots\cdots(11)$$

ただし，d，地面修正量 cm；z_0，粗度長 cm

を使つて，植被上の風速の垂直分布から求めることができる．

さて，抵抗係数 C_d を得るために，

$$\tau(0) = 0,\ C_d(z) = C_d(\text{const})$$

と仮定すると (Uchijima and Wright, 1964)，(9) 式より，

$$C_d = \frac{\tau_h}{\rho \int_0^h U_m^2 f_L(z) \mathrm{d}z} \quad \cdots\cdots(12)$$

が得られる．ただし，U_m は植被内の平均風速で，Thom (1971) により，

$$U_m^2 = \frac{\int_0^h U^2(z) f_L(z) \mathrm{d}z}{\int_0^h f_L(z) \mathrm{d}z} \quad \cdots\cdots(13)$$

と定義されている．

したがつて，群落における抵抗係数を得るには，まず (11) 式に示した植被上の風速の垂直分布から摩擦速度 U_* を求める必要がある．Fig. 11 に小麦，大豆，グレインソルガムの短稈と長稈系統および水稲の各植被上の風速と高さの関係を (11) 式に基づいて示した．

以上のようにして求めた各々の作物個体群の抵抗係数 C_d を植被内の平均風速 U_m〔(13) 式参照〕に対し

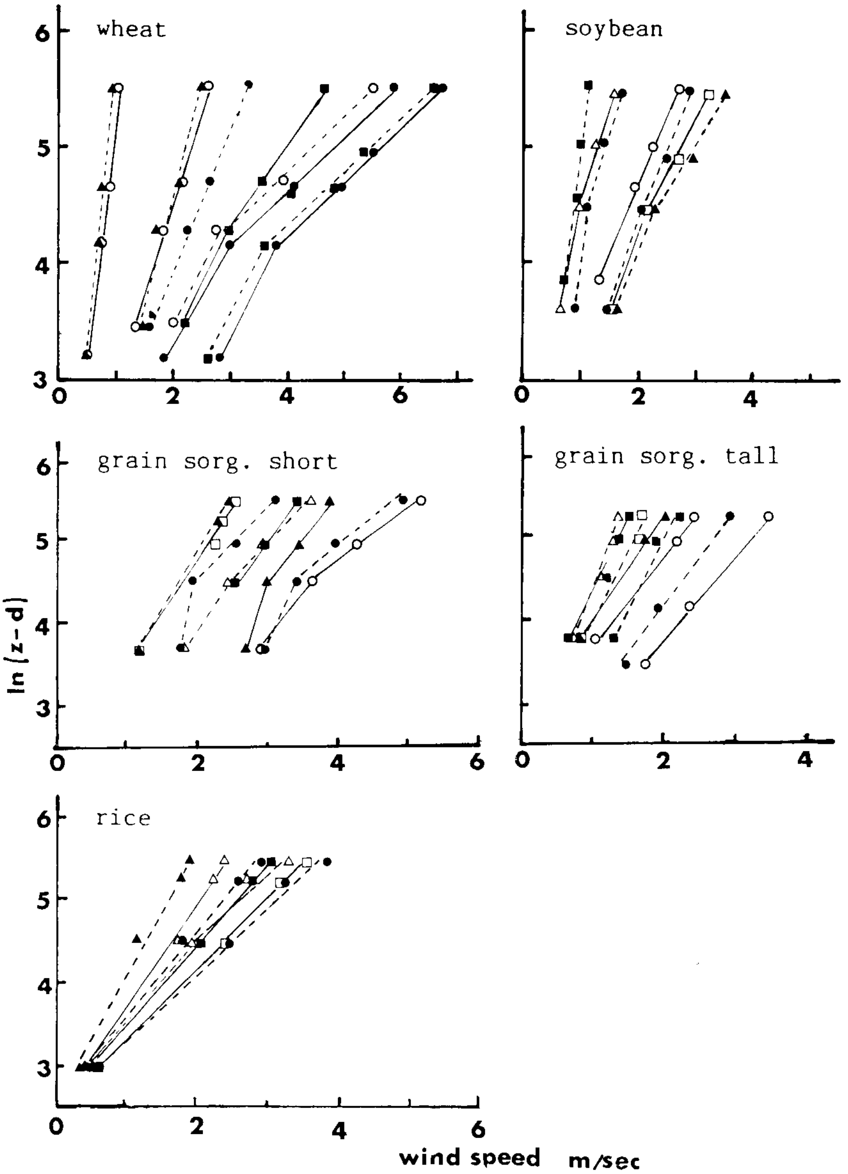

Fig. 11. Wind speeds $[U(z)]$ versus $\ln(z-d)$ for different crop stands.

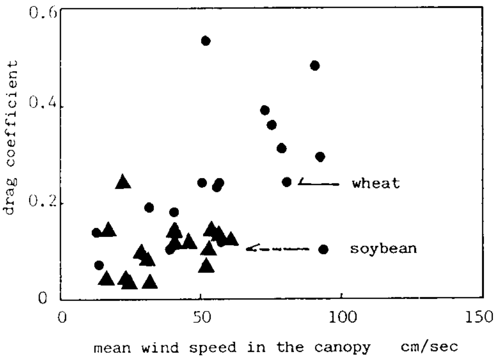

Fig. 12. Relationships between mean wind speeds in the canopy and drag coefficients of wheat and soybean plant populations. Arrows indicate the mean drag coefficients.

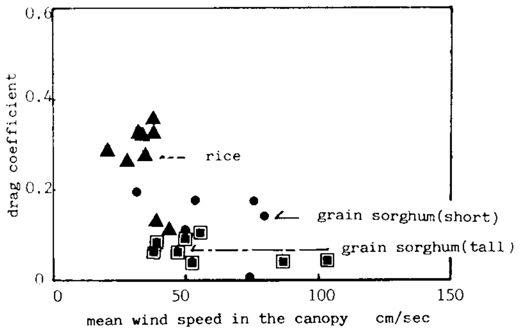

Fig. 13. Relationships between mean wind speeds in the canopy and drag coefficients of grain sorghum and rice plant populations. Arrows indicate the mean drag coefficients.

てプロットした(Figs. 12, 13). 各個体群ともに抵抗係数はかなりのばらつきはあるが，大豆は 0.10，グレインソルガムの長稈系統では 0.08 であり，これらは他の作物よりも小さい．大豆個体群において抵抗係数が小さいのは，Thom (1968) がモデル葉を用いた風洞実験で得た，水平タイプの抵抗係数が小さいことと一致する．グレインソルガムの長稈系統で抵抗係数が小さいのはどのような理由によるものであろうか．グレインソルガムの短稈系統の抵抗係数も小麦・水稲などと比較してやや小さい傾向がある．したがつて，Thom (1968) の実験結果に従えば，グレインソルガムの葉身の傾斜角は水稲などにくらべて小さいことが予想される．本研究においては，葉身の傾斜角の調査を行つていないので，葉の傾きの程度を知る意味で，短波放射の消散係数について，水稲とグレインソルガムについて比較してみる〔広田ら (1978)，武田・広田 (1983)〕. 水稲の消散係数は 0.30 でグレインソルガムは 0.32〜0.34 であり，ややグレインソルガムの消散係数が大きい．このことはグレインソルガム個体群の傾斜角が大きいことを示唆している．グレインソルガムの抵抗係数が比較的に小さいのは葉身の傾斜角が小さいことが一つの理由になつていると考えられる．さらにグレインソルガムの長稈型の方が短稈型よりも抵抗係数が小さい理由として，長稈型の葉身が風によつてはためき (fluttering) やすいことが挙げられる．Oikawa (1978a, 1978b) は葉のはためにきにより抵抗係数が小さくなることを指摘している．

さて，先に述べた Thom (1968) のモデル葉による実験では，葉身の傾斜角が 0〜90 度の間で，抵抗係数は 0.05 から 0.50 まで変化した．Rauner (1976) によると広葉樹群落における抵抗係数は平均 0.03 であり，Thom (1968) によるモデル葉の傾斜角が 0 度の抵抗係数よりもかなり小さい．実際の植物群落で，葉身の傾斜角が 0 度ということはあり得ないので，このことを考慮すると，上記の広葉樹の抵抗係数は極端に小さいと言える．本研究においてもグレインソルガムの長稈型個体群で抵抗係数は小さいが，このように草高の高い群落において，抵抗係数が小さいのは一般的に如何なる理由によるのか，この点に疑問が残る．

4. 拡散係数

以上の結果をもとに植被内の CO_2 拡散について考察する．拡散係数 D は，

$$D(z)=U(z)i(z)l_m(z) \quad \cdots\cdots(14)$$

ただし，$D(z)$，拡散係数 cm^2/sec；$U(z)$，風速 cm/sec；$i(z)$，相対乱流強度；$l_m(z)$，混合距離 cm で表わされているが，植被の中央では (14) 式に，(1) および (4) 式を代入して得られる (15) 式，

$$D(z)=U_h\exp\left[-C_dF_L\frac{1}{3.2\,x^2}\left(1-\frac{z}{h}\right)\right]\cdot i(z)\frac{4\,x^3}{C_d}\cdot\frac{1}{f_L(z)} \quad \cdots\cdots(15)$$

によつて考察する．

拡散係数 $D(z)$ は (15) 式によつて明らかなように，高さ方向（相対値）に対して減衰し，その減衰係数は風速の減衰係数 β〔(5) 式〕で示される．このことは群落内の拡散係数の減衰は風速の減衰と強く関係していることが示唆される．

さて，(5) 式および (15) 式から明らかなように，

風速および拡散係数の減衰係数はさらに抵抗係数 C_d に比例している．大豆の抵抗係数 C_d はすでに述べたように水稲に比べて小さいのであるが (Figs. 12, 13), Fig. 8 に示したように，減衰係数は他の作物に比べて同じか，あるいは LAI が大きい段階ではむしろ大きくなつている．このことは風速あるいは拡散係数の減衰には LAI および抵抗係数 C_d 以外の他の要素，例えば大豆個体群では Fig. 3 に示すように葉面積密度が上層に集中していることが上記のことに影響を与えていると考えられる．また，グレインソルガムの長稈型と短稈型の減衰係数を比較した場合，抵抗係数 C_d が小さい長稈型で減衰係数は小さくなることが示唆される (Fig. 13)．

次に拡散係数 $D(z)$ の構成要素である混合距離 l_m と相対乱流強度 i について述べる．混合距離 l_m は抵抗係数 C_d に逆比例しており〔(4) 式〕，抵抗係数が小さい大豆やグレインソルガムの長稈型で混合距離は大きく，その結果，拡散係数を大きくしている．相対乱流強度 $i(z)$ は植被内部で 0.3〜0.6 の間で変動しているが，作物間のはつきりした違いは見られなかつた（武田・広田，1983)．同様なことは Cionco (1965) も指摘している．

5. 群落構造と CO_2 拡散

以上述べたことをもとにして，ここで，群落構造と CO_2 拡散の関係について整理しておく．

群落構造に関して，CO_2 拡散は三つの場面で関係している．第一は大気からの CO_2 拡散であり，これは主に草高と関係しており，草高が高いほど拡散係数は大きい (Monteith, 1973；武田・広田，1983)．第二は植被内での CO_2 拡散であり，これは葉の傾き，および葉

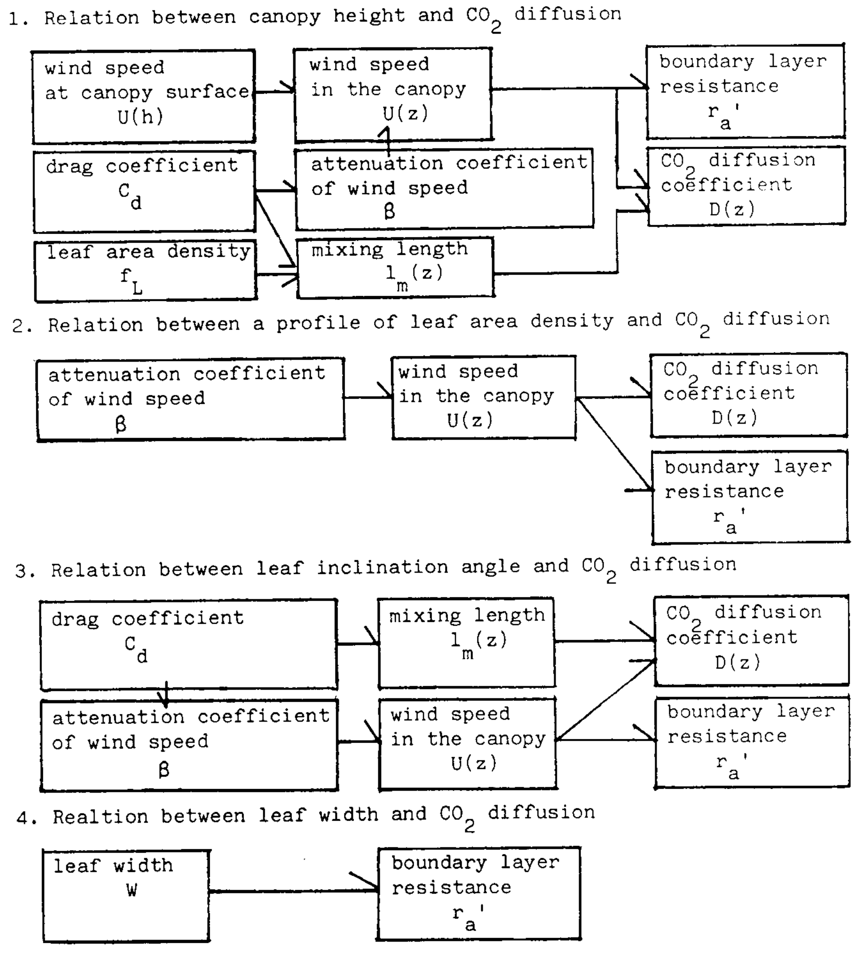

Fig. 14. Relation between component factors of the foliage and those of CO_2 diffusion in the canopy.

面積密度と関係が深い（Kondo and Akashi, 1976; Monteith, 1973; Thom, 1968）．第三として，葉面境界層での CO_2 拡散である．これは葉の大きさが関係する（堀江，1981）．

ここでは群落構造と最も関係が深い植被内での拡散係数について，その構成要素と群落構造との関係を検討する．

植被内の高さ z における拡散係数は，風速，相対乱流強度および混合距離の積として（14）式で示されている．以下この式に基づいて検討する．

まず，風速 $U(z)$ は(1)式で示したように，植被面風速 U_h と減衰係数 β で表わされる．減衰係数 β は(5)式に示したように葉の傾きに関係している抵抗係数 C_d と，葉面積指数 F_L で表わされる．

つぎに，(14)式における混合距離 l_m は(4)式に示すように，草高と関係が強い葉面積密度 f_L と関係している．群落構造を特徴づける要素（草高，葉の傾き等）と CO_2 拡散にかかわつている各要素との関連をまとめると Fig. 14 のようになるであろう．

まず，草高と CO_2 拡散に関する構成要素との関係は次のようである．グレインソルガムの同質遺伝子系統を用いた実験では，草高の高い群落では草高の低い群落よりも植被面の風速 U_h は大きく，植被内での風速の減衰係数 β（Fig. 8）および風に対する抵抗係数 C_d は小さい傾向があつた（武田・広田，1983）．これらのことは草高が高い群落での葉面境界層 r_a を小さくしていると考えられる．また，草高の高い群落では葉面積密度 f_L が小さいので混合距離 l_m が大きい〔(4)式〕．このため，(14)式より明らかなように拡散係数 $D(z)$ は大きくなる．

つぎに，大豆個体群で見られるように，葉面積が植被の上層に集中している群落と，水稲個体群のように，葉面積が紡垂型に分布している群落では CO_2 拡散に関してはどちらのほうが有利であろうか．風速の減衰係数 β は Fig. 8 のヒマワリや大豆に見られるように，同じ LAI で比較したばあいに他の作物よりも大きい傾向がある．このことは植被内の風速を低下させ，拡散係数と葉面境界層抵抗を小さくし，群落光合成を低下させる可能性がある．

葉の傾きに関しては，Thom (1968) は大豆のような水平葉型の葉では抵抗係数 C_d が小さいことを確かめている．このことは混合距離 l_m を大きくし〔(4)式〕，減衰係数 β を小さくする〔(5)式〕ので拡散係数 $D(z)$ を大きくし，かつ葉面境界層 r_a を小さくする．したがつて，水平型の葉で形成される群落では，CO_2 拡散に関する限りは有利なことが予想される．

葉の大きさと CO_2 拡散に関しては，現在のところ個々の葉の大きさと（4）式および（5）式に示された群落構造の各構成要素との関係を調べた例は見られない．しかしながら，葉の大きさは直接に葉面境界層抵抗 r_a に関係しており，大きな葉では葉面境界層抵抗 r_a も大きい（堀江，1981）．

さて，上に述べたことは群落構造と CO_2 拡散との関係についてであるが，言うまでもなく群落構造は CO_2 拡散に関係すると同時に受光とも強く関係している．むしろ，群落光合成にとつては，光条件はもつとも重要な環境要因である．群落を構成する各要素は CO_2 拡散と受光との両面で群落光合成に影響を与えている．たとえば，葉の傾きは受光の面からは直立葉が良いとされている．しかしながら，先に述べたように，直立葉型の群落は抵抗係数が大きいので，植被内での風速の急激な減衰を招きやすい．このような場合には，CO_2 拡散および受光の両面から検討して群落光合成を最大にするような葉の傾きが決められるべきであろう．したがつて，これまでに述べた CO_2 拡散に関与する群落の各構成要素が群落光合成におよぼす影響をそれぞれ量的に評価する必要がある．しかしながら，実際には，評価しようとする構成要素のみを任意に変化させて，他の要素はすべて同じ個体群を作り出すことはほとんど不可能である．本研究では草高の異なつた個体群を得るために同質遺伝子系統のグレインソルガムを用いたが，これも個葉光合成および光の減衰係数などで若干の違いが見られた．

以上のことを考慮して，Ⅳ報では草高の異なつた群落の CO_2 拡散を媒介とする群落光合成への影響については，実測データをもとに比較する．すなわち，上記のグレインソルガムをもちいて草高の違う個体群を作り，光，風，CO_2 および個葉光合成の測定を行い，群落光合成のシミュレーションにより両者の比較を行う．他の構成要素については，これまでに得た CO_2 拡散に関するデータをもとに，シミュレーションによつてそれぞれの構成要素が群落光合成におよぼす影響について考察する．

摘　要

群落構造は CO_2 拡散に強く関係している．群落内の CO_2 拡散係数は風速，相対乱流強度および混合距離の積で表わされる．拡散係数はこれらのうち風速に特に支配される傾向が強い．本報では群落構造と風速の減衰係数，およびその構成要素の一つである抵抗係数と

の関係を調べた.

1）栽培ヒエ，陸稲，小麦，大豆，グレインソルガムの短稈系統と長稈系統および水稲個体群について，風速の観測を行い，風速の減衰係数および葉身の風に対する抵抗係数を求めた.

2）高さ方向に対する風速分布から求めた減衰係数 β は葉面積指数と抵抗係数の積で表わされた．減衰係数は葉面積密度が植被の上層で高い大豆で大きく，植被の下層で高い陸稲で小さかつた．草高が等しく，葉面積密度の垂直分布が紡垂型をしている個体群（グレインソルガムの短稈系統，水稲）では，両者の中間であつた.

3）積算葉面積に対する風速分布から求めた減衰係数 β' は大豆個体群で小さく，陸稲および水稲個体群で大きかつた．グレインソルガムの長稈系統でも β' は小さい傾向があつた.

4）減衰係数 β' は抵抗係数と関係しており，大豆とグレインソルガムの長稈系統の個体群において抵抗係数は小さかつた.

5）以上の結果から，葉面積密度と抵抗係数の小さいグレインソルガムの長稈系統の個体群において CO_2 拡散係数が大きいことが示唆された.

文　　献

Cionco, R. M. 1965 A mathematical model for air flow in a vegetative canopy. *Jour. Appl. Meteor.*, **4**: 517-522

Duncan, W. G. 1971 Leaf angle, leaf area, and canopy photosynthesis. *Crop Sci.*, **11**: 482-485

Goudriaan, J. 1977 *Crop micrometeorology : a simulation study.* Simulation monographs center for Agri. Pub. and Doc, Wageningen. p. 110

広田　修・武田友四郎・村田裕治・木場明倫 1978 数種作物の太陽光利用に関する研究．第二報 水稲及び大豆個体群による短波放射及び光合成有効放射の利用効率及び転換効率．日作紀 **47**：133-140.

堀江　武 1981 気象と作物の光合成，蒸散そして成長に関するシステム生態学的研究．農技研報告 **A28**：1-181

Inoue, E. 1963 On the turbulence structure of air flow within crop canopies. *Jour. Meteor. Soc. Jpn.*, 41: 317-326

Kondo, J. and S. Akashi 1976 Numerical studies on the two-dimensional flow in horizontally homogeneous canopy layers. *Boundary-Layer meteor.*, 10 : 255-272

Monteith, J. L. 1973 *Principles of environmental physics*. Edward Arnold, London

Oikawa, T. 1978a Wind characteristics of the mode1 canopy demonstrated with wind-blow computer experiments. *In* "JIBP Synthesis", Vol. 19, ed. by M. Monsi and T. Saeki, pp. 159-167

Oikawa, T. 1978b Canopy photosynthesis of the plant population simulated on the basis of light and CO_2 conditions. *In* "JIBP Synthesis", Vol. 19, ed. by M. Monsi, and T. Saeki, pp. 167-183

Rauner, J. L. 1976 Deciduous forests. *In* Vegetation and the Atmosphere" Vol. 2, ed. by J. L. Monteith, pp. 241-264

武田友四郎・広田　修 1983 作物個体群による太陽光利用の特性比較．農水省 GEP 計画 II-4-(2)-2. pp. 1-27

Thorn, A. S. 1968 The exchange of momentum, mass and heat between an artificial leaf and the air flow in a wind tunnel. *Quot. Jour. Roy. Met. Soc.*, *94* : 44-55

Thorn, A. S. 1971 Momentum absorption by vegetation. *Quot. Jour. Roy. Met. Soc.*, *97* : 414-428.

Uchijima, Z. and J. L. Wright 1964 An experimental study of air flow in a corn-plant air layer. *Bull. Nath. Inst. Agric. Sci. Ser.* All : 19-66

Summary

It is clear that a canopy architecture affects the CO_2 diffusion in a foliage. The CO_2 diffusion coefficient is expressed by

$$D = U \cdot i \cdot l_m$$

where D is diffusion coefficient, U is wind speed, i is relative turbulence intensity and I, is mixing length.

In this paper we show the relation of canopy architecture with attenuation coefficient (β) of wind speed (U) in the canopy and drag coefficient (C_d) as one of the construction factors of β.

The results are summarized as follows ;

From the profiles of the wind speed above and within the canopies of barnyard millet, upland rice, paddy rice, wheat, soybean and short and tall types of grain sorghum, the attenuation coefficients (β) of wind speed and drag coefficients (C_d) of leaves in these canopies were obtained.

The β obtained from the wind profile in the canopy can be expressed as

$$\beta \propto F_L \cdot C_d$$

where F_L is leaf area index. Though C_d of the horizontal foliage was smaller than that of vertical foliage, β of the soybean canopy was larger than paddy and upland rice vertical foliages compared on the same F_L. This resulted from the soybean canopy having large leaf area density (LAD) in upper layers of the foliage.

The β of the tall type of grain sorghum was smaller than that of the short type. This resulted from the small C_d of the tall grain sorghum canopy.

As mentioned above, it was found that the attenuation coefficient (β) of wind speed was affected by not only leaf inclination but also vertical distribution of leaf area and canopy height.