

作物形態の数値化と地表面受光量分布II(群落モデル)

中野, 芳輔
九州大学農学部灌漑利水工学研究室

長, 智男
九州大学農学部灌漑利水工学研究室

<https://doi.org/10.15017/22252>

出版情報 : 九州大学農学部学藝雑誌. 42 (1/2), pp.67-78, 1987-12. 九州大学農学部
バージョン :
権利関係 :

作物形態の数値化と地表面受光量分布 II (群落モデル)

中野 芳輔・長 智男

九州大学農学部灌漑利水工学研究室
(1987年7月15日 受理)

A Numerical Treatment of a Crop Architecture and the Area1 Distribution of Shortwave Radiation on the Soil Surface II

YOSHISUKE NAKANO and TOSIO CH O

Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Faculty of Agriculture,
Kyushu University 46-05, Fukuoka 812

緒 言

作物群落下の土壌面蒸発量を定量化するためには、土壌面に到達する太陽の直達放射、天空からの散乱放射、作物体からの派生散乱放射等のエネルギー環境の把握が必要である。これらは太陽高度、方位角および作物体の空間幾何構造等によって変化するため土壌面上のエネルギー分布は2次元的な複雑な様相を呈する。畦栽培された作物群落の一般的な生長形態は生育初期では個体間隔が広く、互いに独立した状態であるが、生長につれてまず畦方向の葉層が接触して列状を呈するようになり、さらに水平方向に均一な密な群落へと移行する。これに伴い土壌面の到達エネルギー量も大きく変化する。こうした時間的、空間的に複雑に変化するエネルギー環境を把握することは実測によつては難しく、このため中野・長 (1987) は大豆について実体モデルの導入を試み、まず作物個体を対象に土壌面に到達する諸エネルギーの計算方法について論じた。本報ではこれを群落に適用して、生育期毎のモデル群落を計算機によつて再現し、時期別の到達放射量の推定を行った。

実験の方法

九州大学構内貝塚圃場の小区画に大豆 (玉錦) を栽培し、生育期別に形態測定を行った。播種日は7月7日である。畦間隔は80 cm で南北方向に定め、畦方向の作物間隔は30 cm の一本立てとした。生長に伴った形態測定は発芽期から収穫期に至る約3カ月の間、変

化の大きい前半は密に、後半は粗に計10回行った。測定項目は葉柄基部高、葉柄方位角、葉柄分岐角、葉柄長、頂葉の葉軸分岐角、葉軸長、側葉の3つのねじれ角、葉身の葉長、葉幅の計11項目である。方位角は10度単位の36方位と密にした。測定に用いた器具は、地学用のクリノメータ、分度器、スケールの3種である。

放射環境は全短波放射量、天空散乱放射量、天空長波放射量、土壌面到達短波放射量の4項目について測定した。天空散乱放射量の測定にはシャドウリングを用いた。太陽の直達放射量は、全短波放射量より天空散乱放射量を差し引くことによつて求めることができる。土壌面到達短波放射量は5本の管型日射計を畦間に15 cm 間隔に並べて、場所による相違の測定を試みた。以上の放射量は打点記録計によつて自記記録した。

ステージ別形態とモデル化

形態測定値を元に実体モデルの作成を行った。葉は葉長 (W_1)、葉幅 (W_2) をそれぞれ長軸 (Y 軸)、短軸 (X 軸) とする楕円、

$$\frac{X^2}{W_2^2} + \frac{Y^2}{W_1^2} = 1 \quad (1)$$

によつて近似した。座標軸の回転、平行移動を繰り返して、各モデル葉を、主幹の根元を原点とする座標軸系に変換した。

以下、生育期毎の平面図、側面図を示す。

ステージ1 (測定日7月15日) : 7月7日に播種した大豆は8日後に約10 cm の高さに生長した。発芽初

期の形態的特長として、2枚の子葉とともに茎の途中に種子葉を保持している。葉面積は 31 cm^2 であつた。(Fig. 1).

ステージ2 (測定日7月21日): この時点で種子葉は消滅し、新たに3複葉が形成された。大豆の場合、1複葉は1枚の頂葉と2枚の側葉の計3枚の小葉から構成される。これら9枚の小葉と子葉2枚を合わせ計11枚の葉を認めることが出来た。作物高は約15 cmに達した。このとき葉面積は 103 cm^2 であつた。(Fig. 2)

ステージ3 (測定日7月30日): 2複葉が新たに形

成され、5枚の複葉と2枚の子葉の構成となり計17枚の小葉となつた。作物高は約17 cmとなつた。葉面積は 254 cm^2 であつた。(Fig. 3)

ステージ4 (測定日8月7日): 1枚の複葉が追加して、6複葉と2枚の子葉の構成となり、計20枚の小葉となつた。作物高は約30 cmに達した。葉面積は 551 cm^2 であつた。(Fig. 4)

ステージ5 (測定日8月17日): 6枚の複葉が新たに形成され、12枚の複葉と2枚の子葉の構成となり、計38枚の小葉となつた。作物高は約43 cmとなつた。

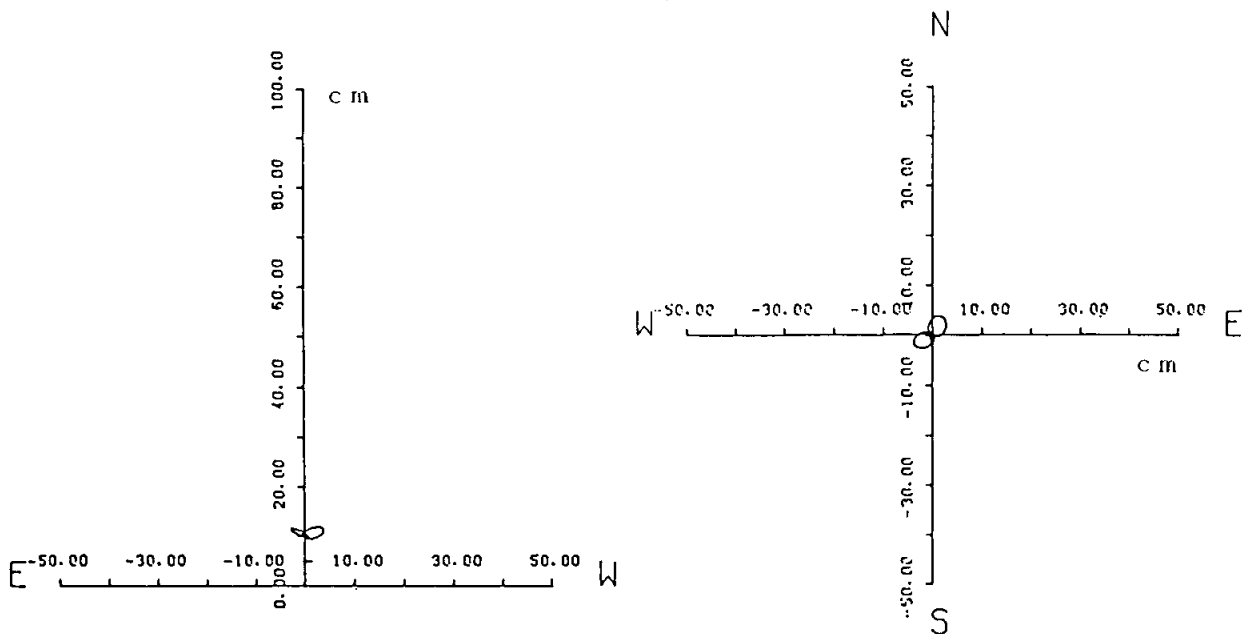


Fig. 1. Soybean structure 8 days after seeding.

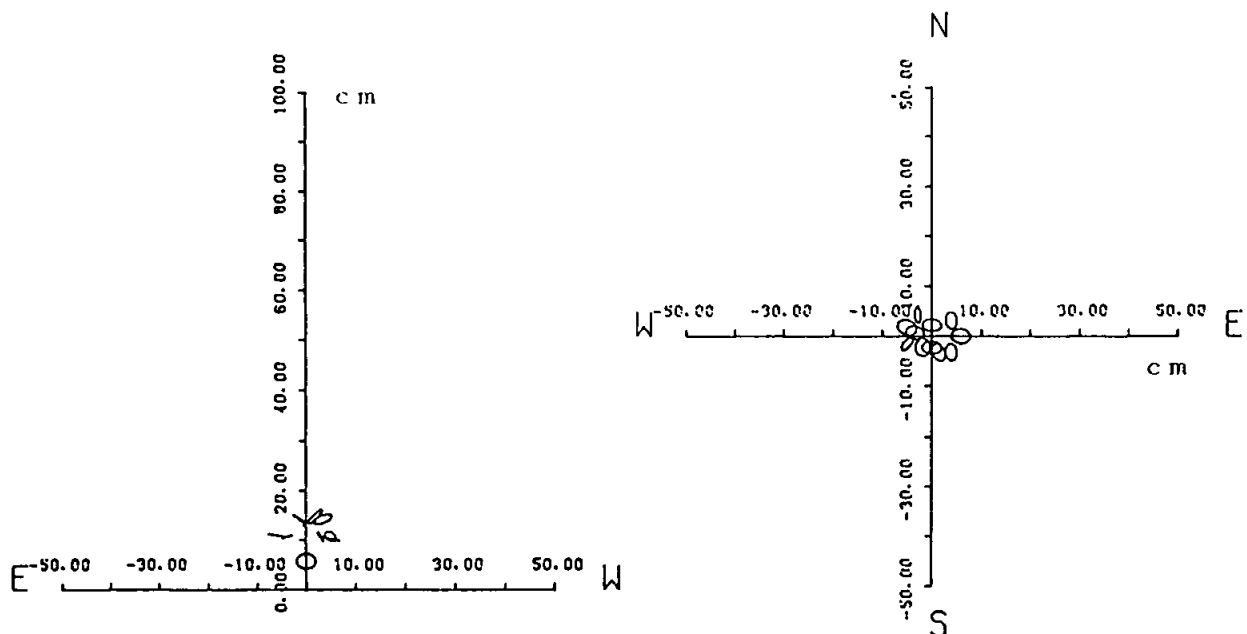


Fig. 2. Soybean structure 14 days after seeding.

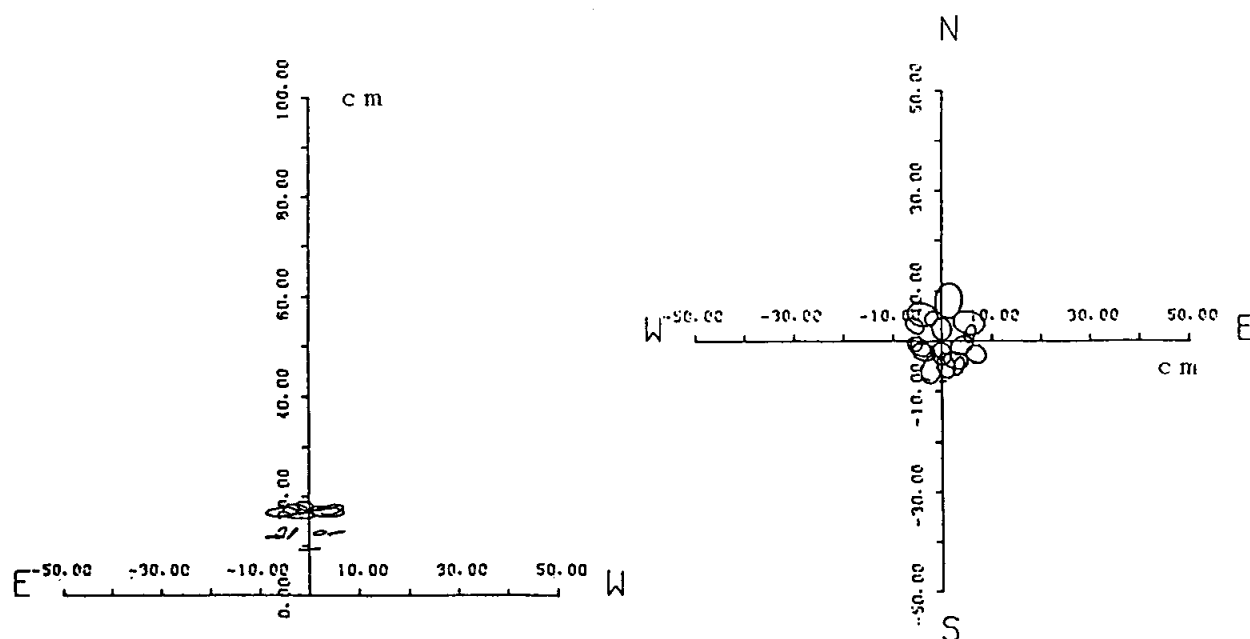


Fig. 3. Soybean structure 23 days after seeding.

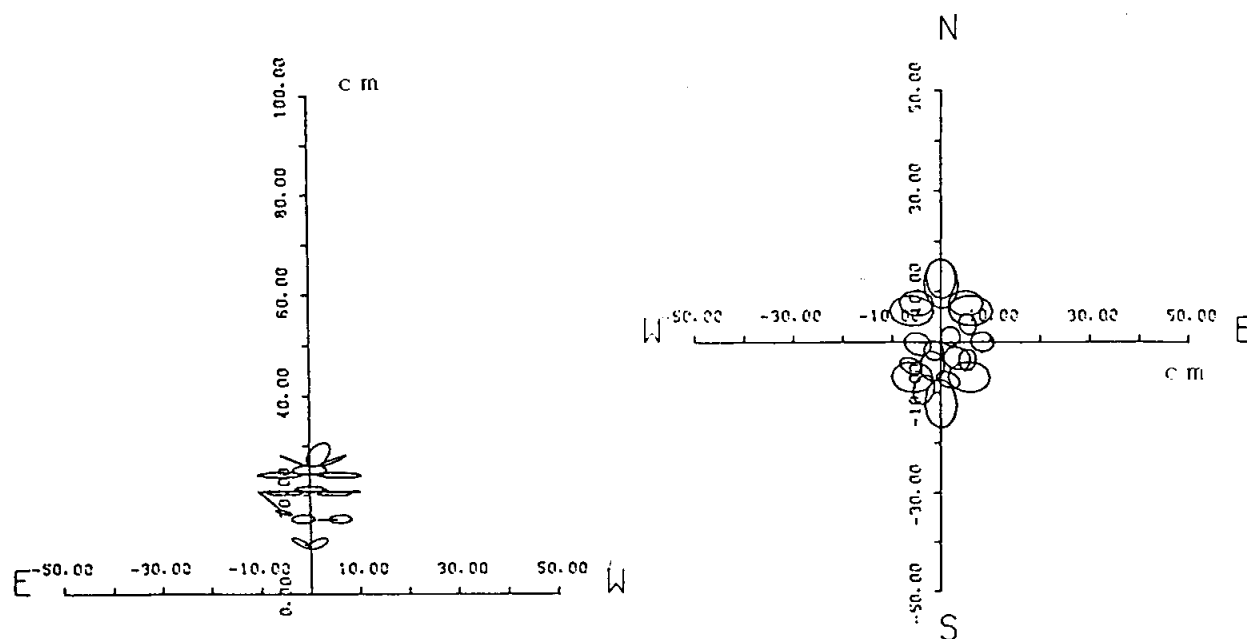


Fig. 4. Soybean structure 31 days after seeding.

葉面積は $1,132 \text{ cm}^2$ であった。(Fig. 5)

ステージ6 (測定日8月24日): 7枚の複葉が追加したが、この時点で子葉が消滅した。したがって計57枚の小葉となった。作物高は約55 cmに達した。葉面積は $3,259 \text{ cm}^2$ であった。この時点で列方向に葉層が接触し、完全な列状を呈するに至った。(Fig. 6)

ステージ7 (測定日9月3日): 13枚の複葉が追加して、計32複葉となった。したがって、計96枚の小葉となった。作物高は約60 cmに達した。葉面積は $4,326 \text{ cm}^2$ であった。(Fig. 7)

ステージ8 (測定日9月16日): 1枚の複葉が追加して、計33枚の複葉となる。したがって計99枚の小葉の構成となった。作物高は約63 cmに達した。新葉の形成は9月に入つてほぼ終了したが、葉の生長によつて葉面積は $5,277 \text{ cm}^2$ に増加した。(Fig. 8)

ステージ9 (測定日10月19日): 前回に比べ2枚の複葉が落葉し、計31枚の複葉となる。したがって計93枚の小葉となった。各葉は一様に下がり気味となり作物高は約55 cm程度となった。葉面積は $4,724 \text{ cm}^2$ と若干減少した。この時期より葉の色に変化が生じ、濃

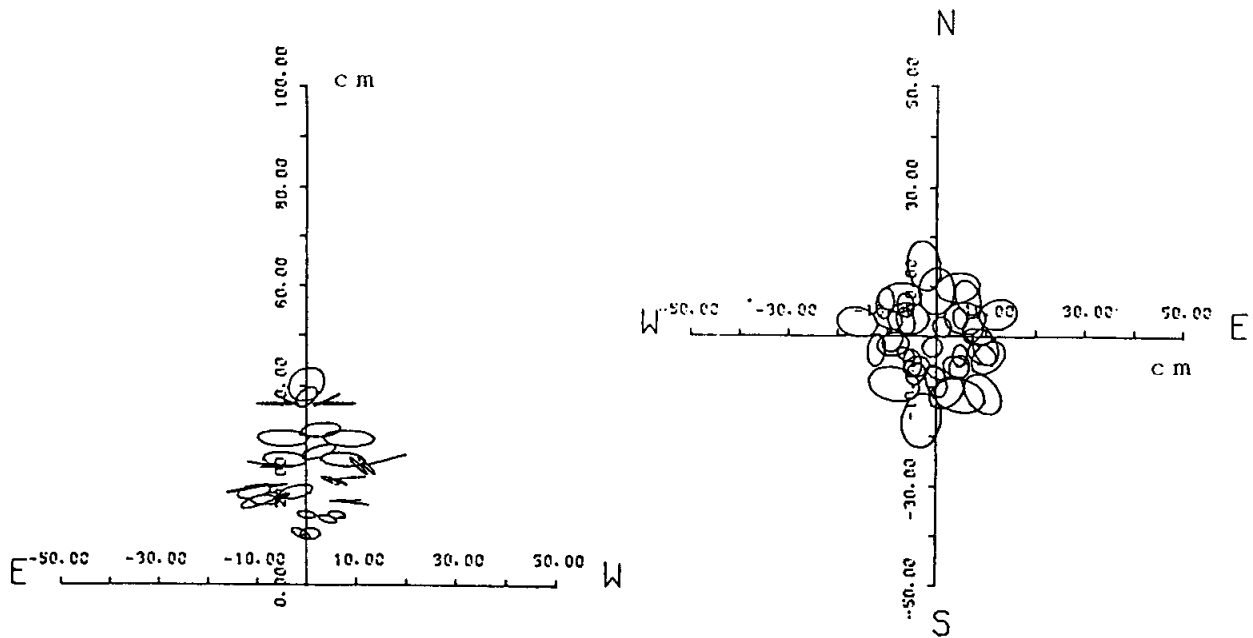


Fig. 5. Soybean structure 41 days after seeding.

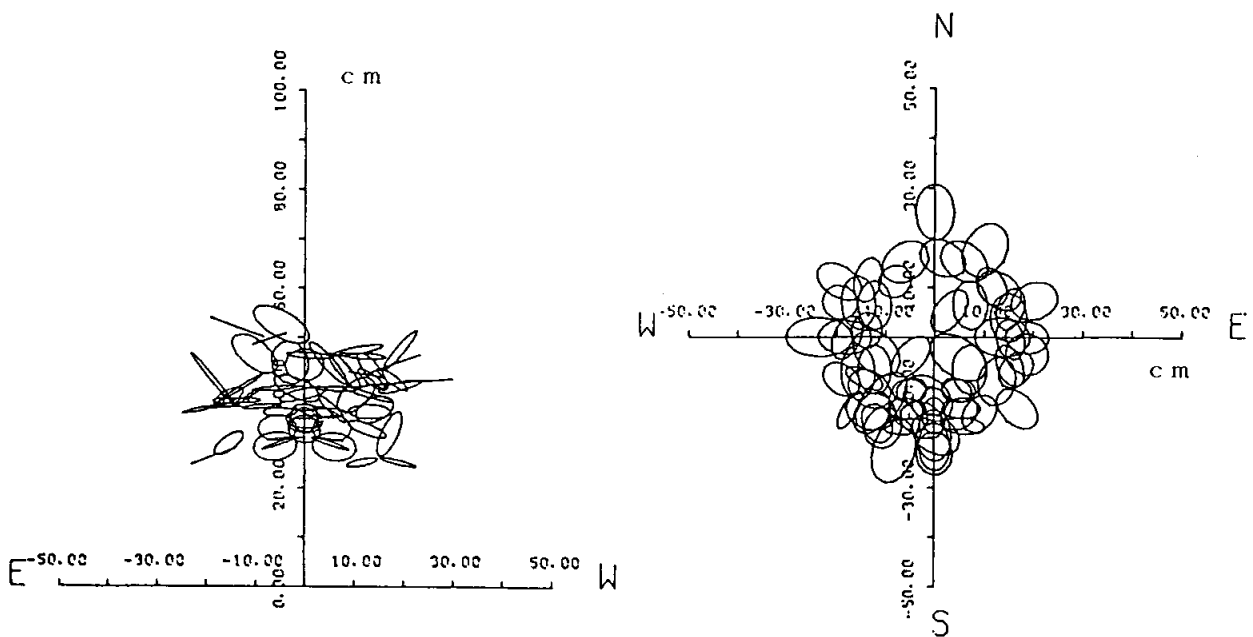


Fig. 6. Soybean structure 48 days after seeding.

緑色より緑黄色となつた。(Fig. 9)

ステージ 10(測定日 10 月 31 日) : 10 月 28 日の台風のため多くの落葉をみた。残つた 15 複葉も小葉の欠損が目立ち、計 36 小葉となつた。このため葉層の分布構造は不自然な形状となり葉面積は $1,483 \text{ cm}^2$ であつた。(Fig. 10)

以上、10 ステージにわたる観測結果を示した。ただし、茎や枝等については、エネルギー遮断の影響が葉に比べてわずかであるのでモデルは考慮していない。

植被率の増加と放射環境

中野・長 (1987) で述べた計算機による正射影魚眼図法を用いて、作物の生育につれて変化する土壌面の放射環境変化の推定を試みた。形態計測を行つた大豆個体の実体モデルを実際の大豆圃場にしながらつて、畦幅 80 cm 、作物間隔 30 cm に配列して、大豆群落を計算機により再現した。同一個体の配列のため完全な意味での再現ではないが、栽培間隔を一定に保つ限り、作物の生長速度は高さ方向、横方向共にほぼ均一であ

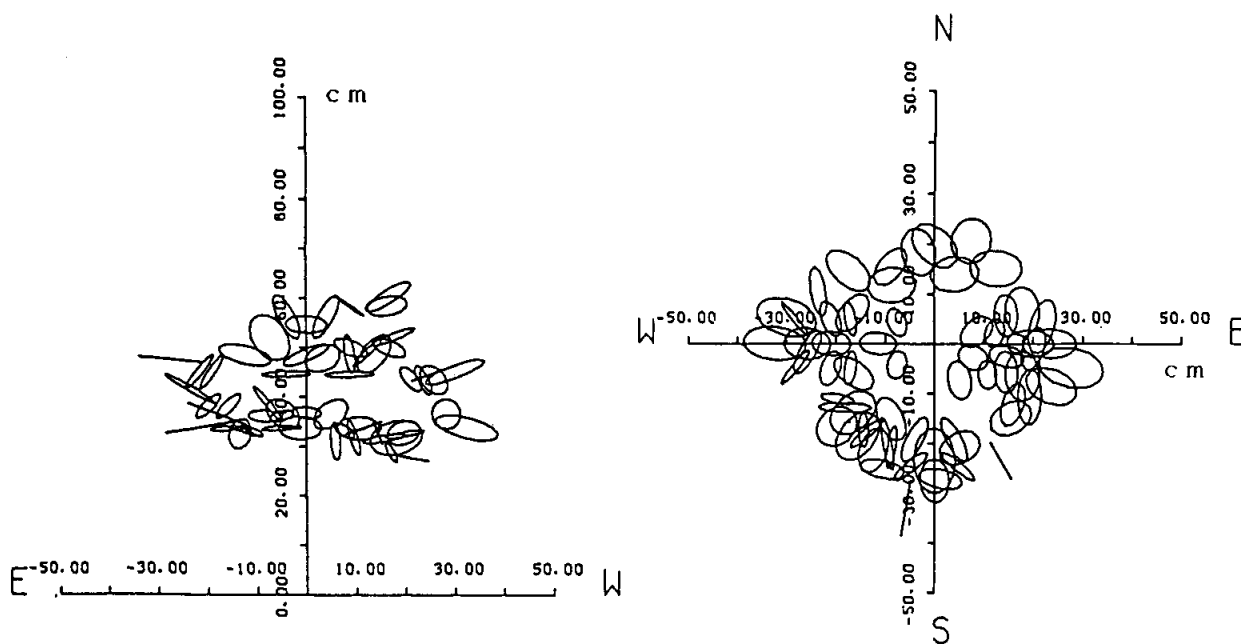


Fig. 7. Soybean structure 58 days after seeding.

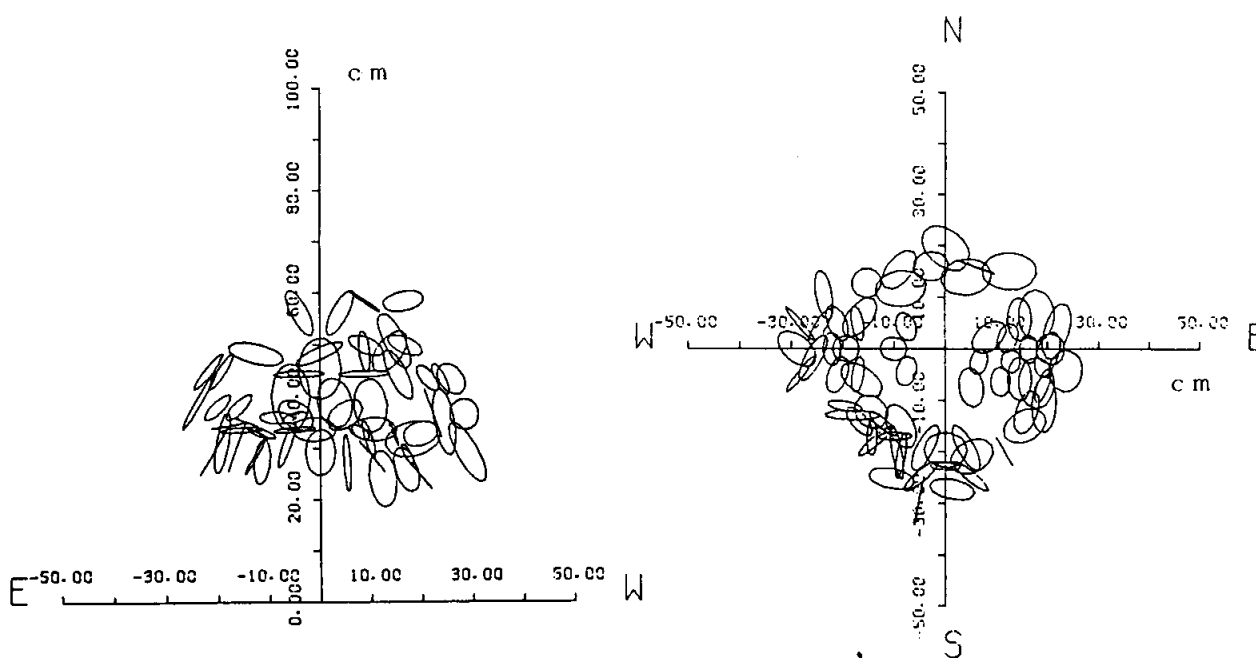


Fig. 8. Soybean structure 71 days after seeding.

り、かつ葉の発生状態も大豆特有の特徴を保つため、モデル群落は実際の群落の代用として十分利用に供し得る機能を有していると思われた。

Fig. 11 に示すように大豆個体に4本によつて囲まれる領域を単位区画として、これを10 cmメッシュによつて分割し、計24節点の魚眼図の作成を行つた。Fig. 12 は作物直下 (a)、畦間中央 (b) の異なる2点の各ステージ毎の作図例を示した。これによれば他の作物列が認められるのはせいぜい3列目迄であり、こ

れより以遠の作物はもはや土壌面のエネルギー環境形成に重要な意味を有していないことが明らかである。

以上述べたステージ毎の魚眼図より天空の形態係数を読み取つて描いたものが Fig. 13 である。播種後71日目に生長はほぼ完了し、作物直下で0.06、畦間中央で0.23となつた。この状態は結実に至る1カ月ほど変化はなく、以後は落葉によつて天空率の回復がみられた。

土壌面に到達する全短波放射量は、天空散乱放射、

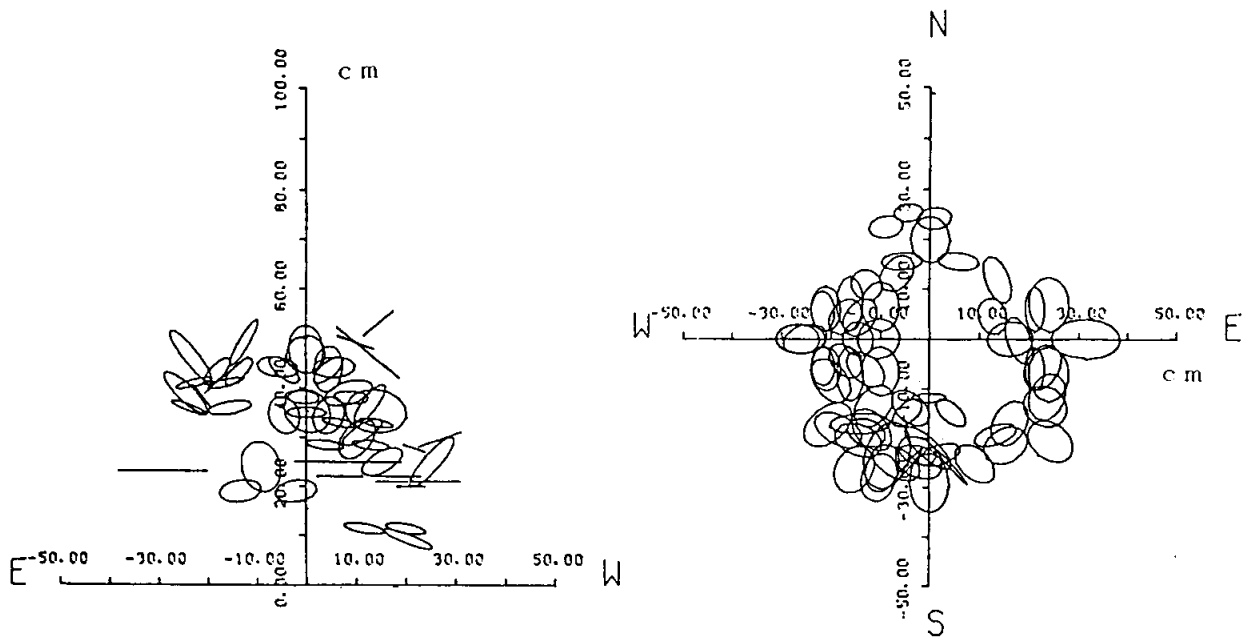


Fig. 9. Soybean structure 104 days after seeding.

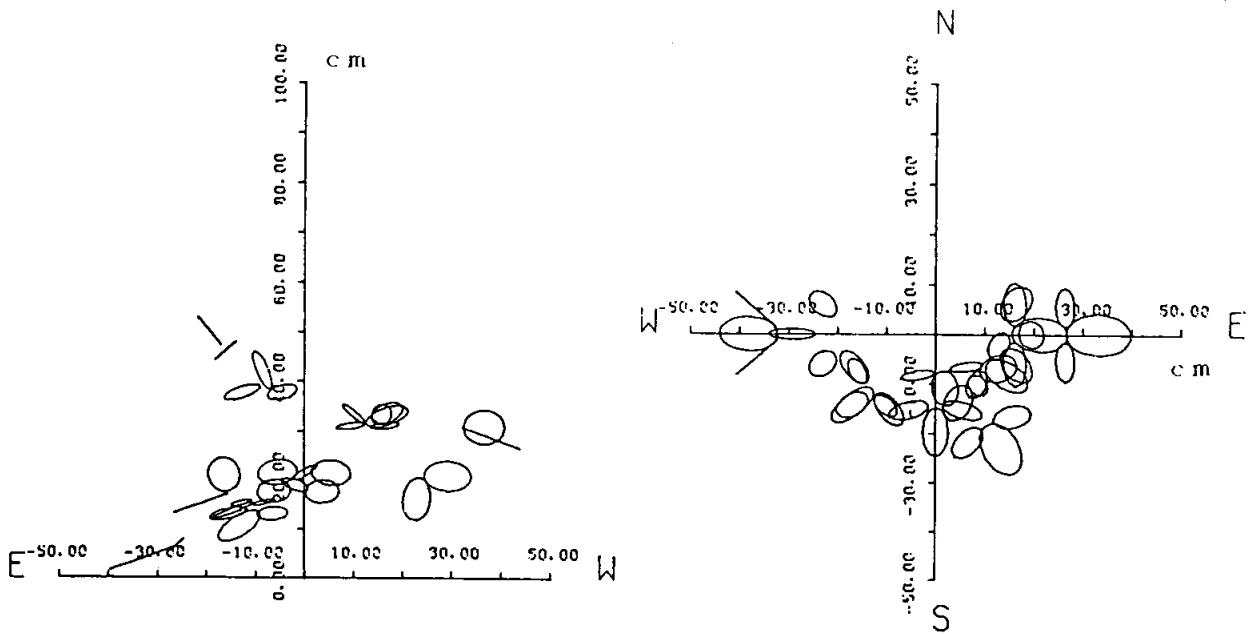


Fig. 10. Soybean structure 114 days after seeding.

直達放射，葉による派生散乱放射の合計である。天空散乱放射は Fig. 12 の天空形態係数に天空の散乱放射成分を掛けて求めることができる。直達放射は，正射影魚眼図中の太陽軌道と葉層の交叉時間から遮断時間を読み取り，その時間帯の直達エネルギーをゼロとした。派生散乱放射は，太陽の方位角，高度によっても変わるので，前報で述べた方法にしたがつて，土壌面の 24 節点について時間毎の日向面形態係数の計算を行い，これに直達放射成分と散乱率を掛けて到達放射量を求

めた。以上の計算にあたり，作物の形態は各ステージ期間内で変化しないものと仮定した。

計算によつて推定される畦間の全短波放射量は管型日射計の値と比較することによつて推定精度を検討することができる。そこで作物の生育を追つて，発芽期，葉層形成の初期，中期，後期，成熟期の晴天日を選び，計算値と実測値の比較を行つた。Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17, Fig. 18 は，それぞれ播種後 14 日目，27 日目，55 日目，71 日目，100 日目の，日射量，畦中央

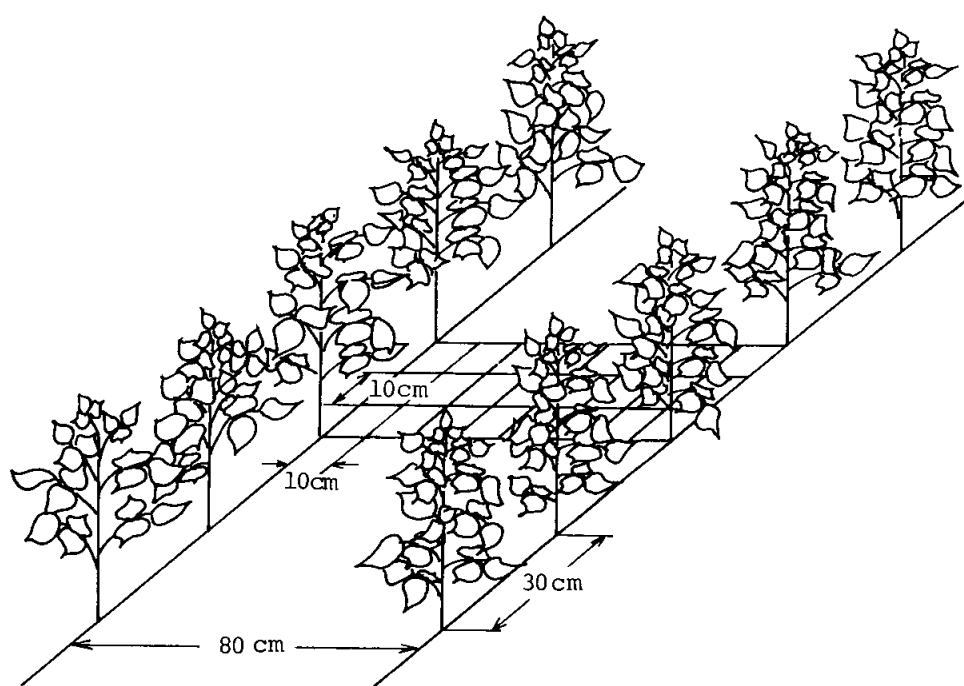


Fig. 11. Schematic presentation of an unit area between two rows. The area was divided into 24 pieces of mesh sized 10 cm × 10 cm for the calculation.

および作物列の東 10 cm 点の 2 点における土壌面到達日射量を示したものである。試験個体を多数発生させて群落を再現したため、個体差による影響は避けられないが、葉層の発達に応じた土壌面到達日射量変化の特徴はよくとらえられている。とくに Fig. 15 は作物高が約 20 cm の場合であるが、東 10 cm 点が正午以後陰になる傾向がよく一致している。また Fig. 17 の成熟期では、太陽の南中時間帯に作物列の隙間から畦中央に光の透入が見られるものの、それ以外では場所による差はほとんど無くなり、1 日間の全短波到達率は 10% 程度であった。

摘 要

群落内のエネルギー環境解析法として、最もすぐれた性質を有する実体モデルを大豆の全生育期間にわたり作成し、土壌面に到達する短波放射量の推定を行った。大豆(玉錦)を栽培し、生育期毎に形態測定を行い、実体モデルを作成した。これを実際の圃場にしたがつて、80 cm × 30 cm の間隔で配列し、計算機により大豆群落を再現した。同一個体の配列のため完全な意味での再現ではないが、栽培間隔を一定に保つ限り、作物の生長速度は高さ方向、横方向共にほぼ均一であり、かつ葉の発生状態も大豆特有の特徴を保つため、モデ

ル群落は実際の群落の代用として十分利用に供し得る機能を有することが確認された。

畦間土壌面に到達する諸エネルギー量を推定するために、4 本の作物によつて囲まれる単位領域を 10 cm メッシュによつて分割し、各節点(24 点)について正射影魚眼図を作成した。これにより葉層の発達に伴う天空の形態係数変化を求め、土壌面到達短波放射量の推定を行った結果、管型日射計による実測値とほぼ一致した。場所毎に異なる土壌面の放射環境を実測するには無数の日射計を土壌面に配置する必要がある。本解析法はこうした事実上測定が困難な場における放射環境の推定を可能とするものである。また本法は作物の種類、栽培密度、生育ステージ等を異にする場にも容易に適用できる汎用性を有している。

なお、本研究は文部省科学研究費一般研究 A (土・水・作物系における水需給機構とカンガイ効果に関する研究) によるものであり、ここに記して感謝の意を表す。

文 献

- 中野芳輔・長 智男 1987 作物形態の数値化と地表面受光量分布(個体モデル). 九大農学芸誌, 41: 47-54

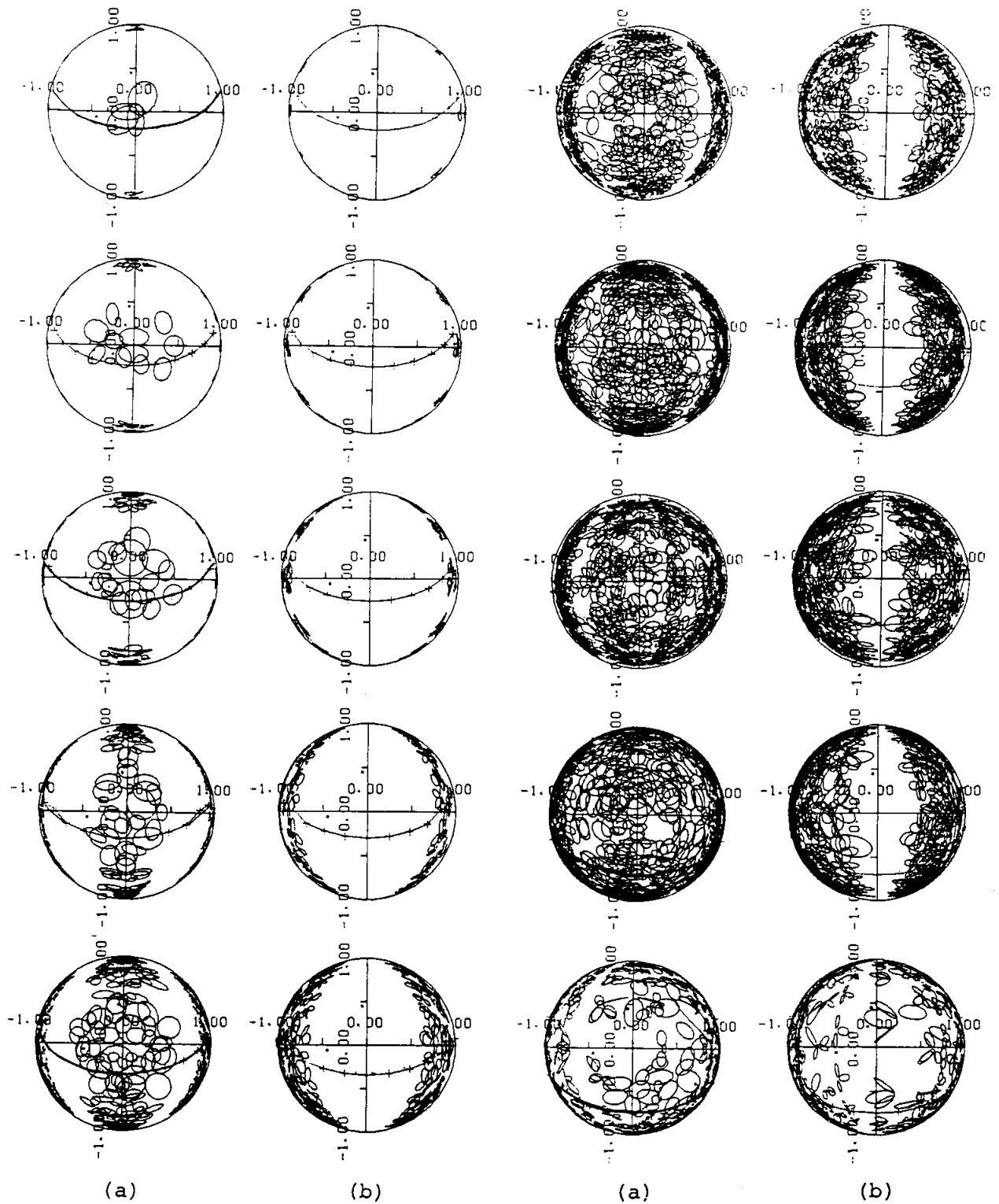


Fig. 12. Soybean canopy models of different growing stages as viewed hemispherically from the soil surface, at (a) the directly below the canopy and (b) the center of the two rows. (8, 14, 23, 31, 41, 48, 58, 71, 104, 114 days after seeding)

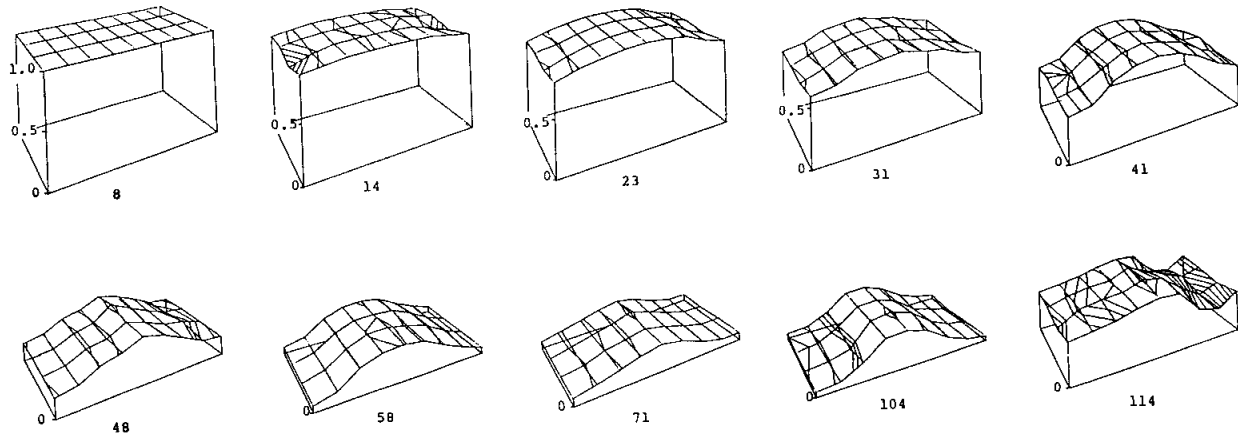


Fig. 13. The areal distribution of view factors of the sky from the soil surface during the growing period.

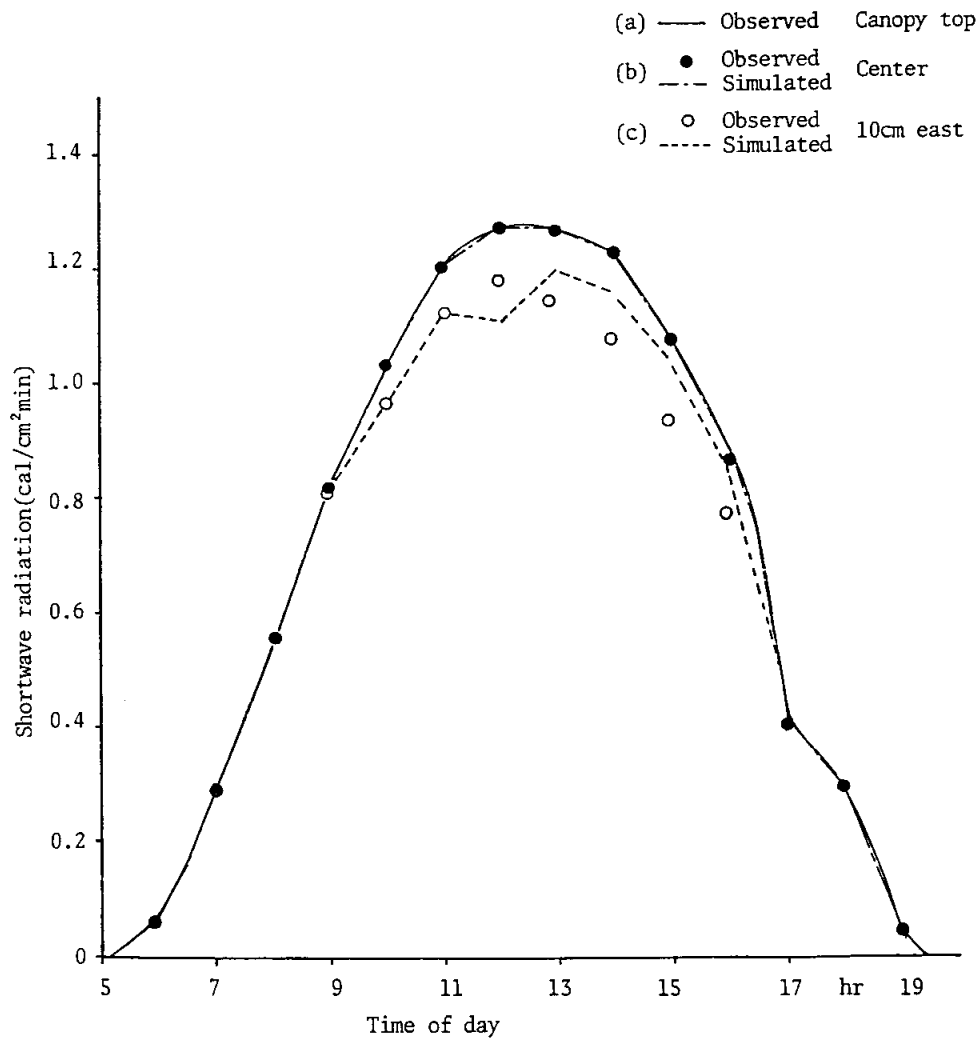


Fig. 14. Simulated and observed diurnal variation for 21 July of shortwave radiation at (a) the canopy top, and the soil surface of (b) the center between the rows and (c) 10 cm east of a row.

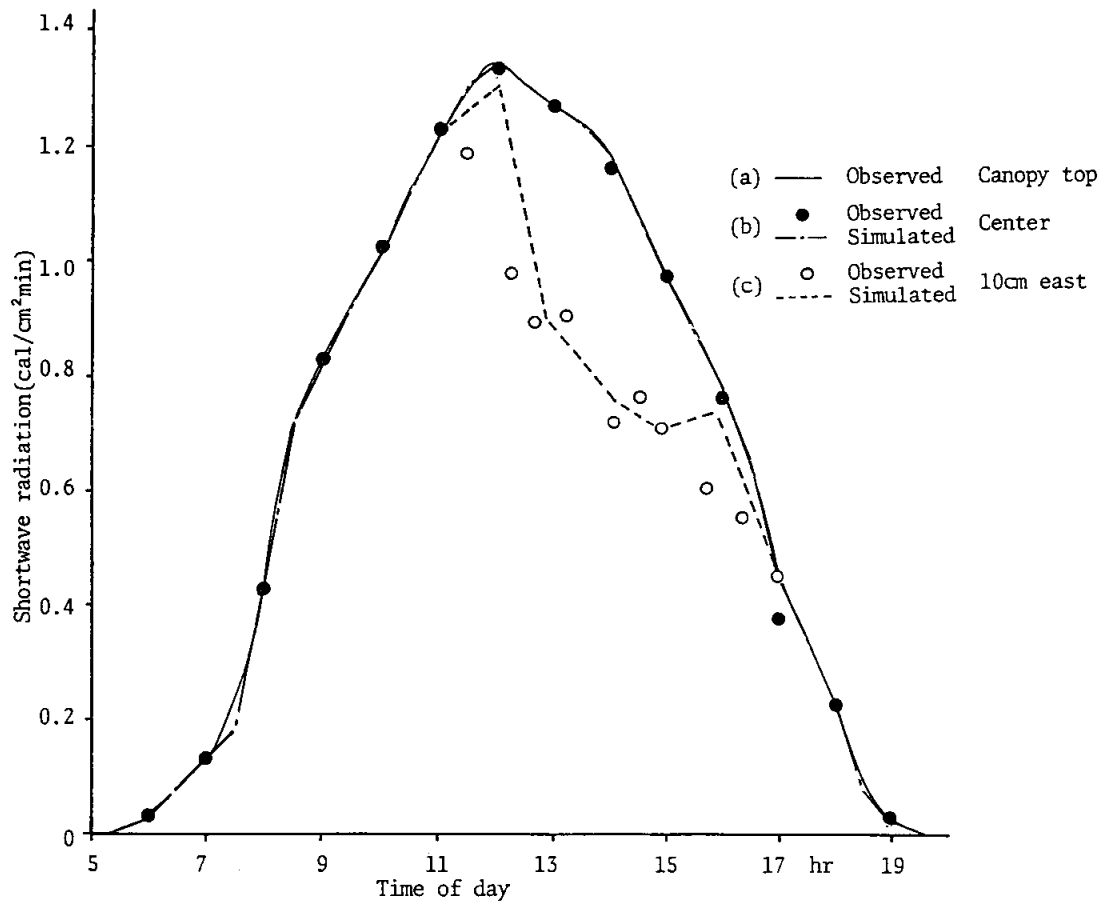


Fig. 15. Simulated and observed diurnal variation for 3 August of shortwave radiation at (a) the canopy top, and the soil surface of (b) the center between the rows and (c) 10 cm east of a row.

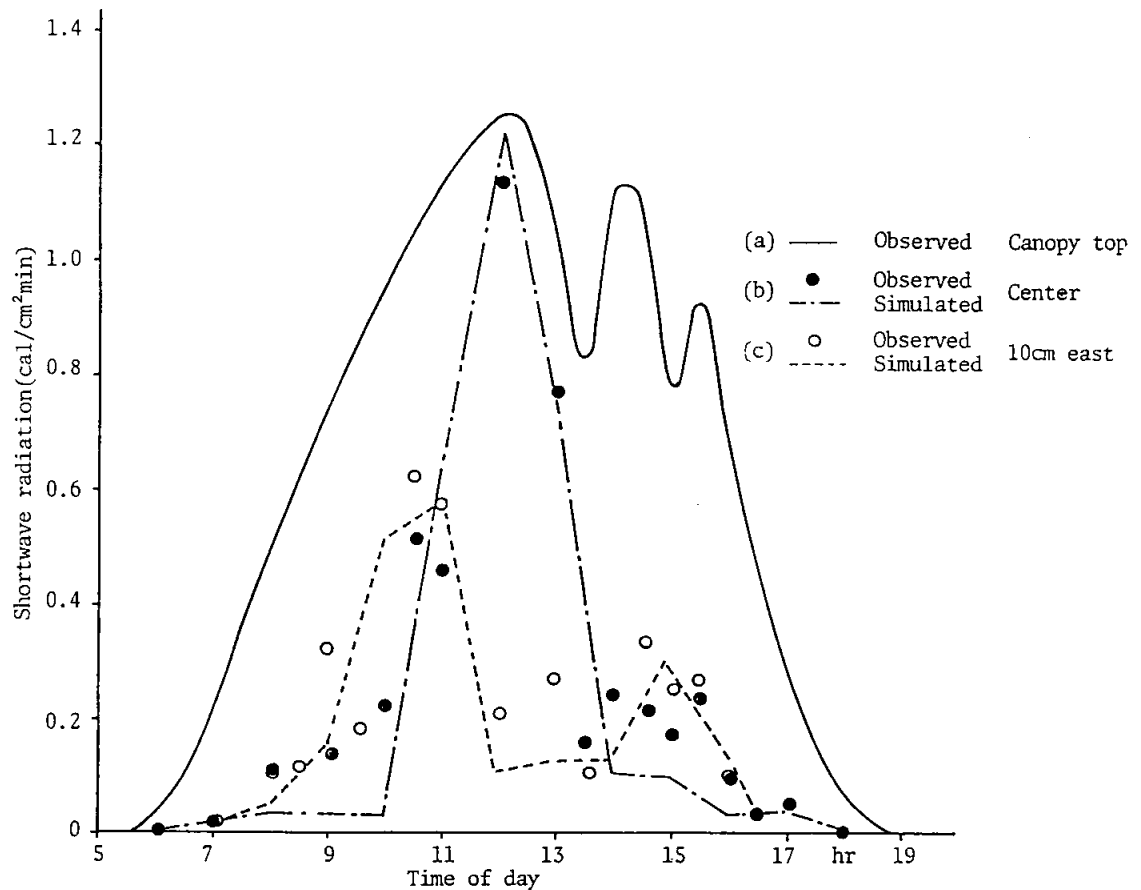


Fig. 16. Simulated and observed diurnal variation for 31 August of shortwave radiation at (a) the canopy top, and the soil surface of (b) the center between the rows and (c) 10 cm east of a row.

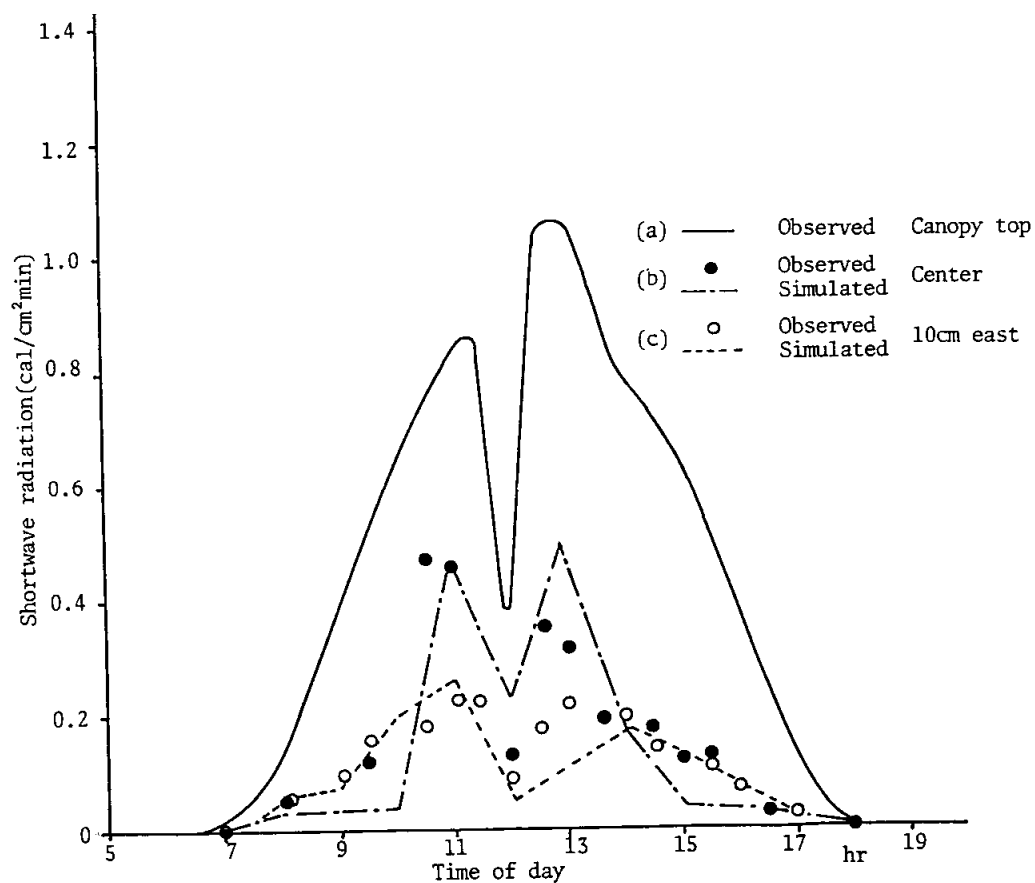


Fig. 17. Simulated and observed diurnal variation for 16 September of shortwave radiation at (a) the canopy top, and the soil surface of (b) the center between the rows and (c) 10 cm east of a row.

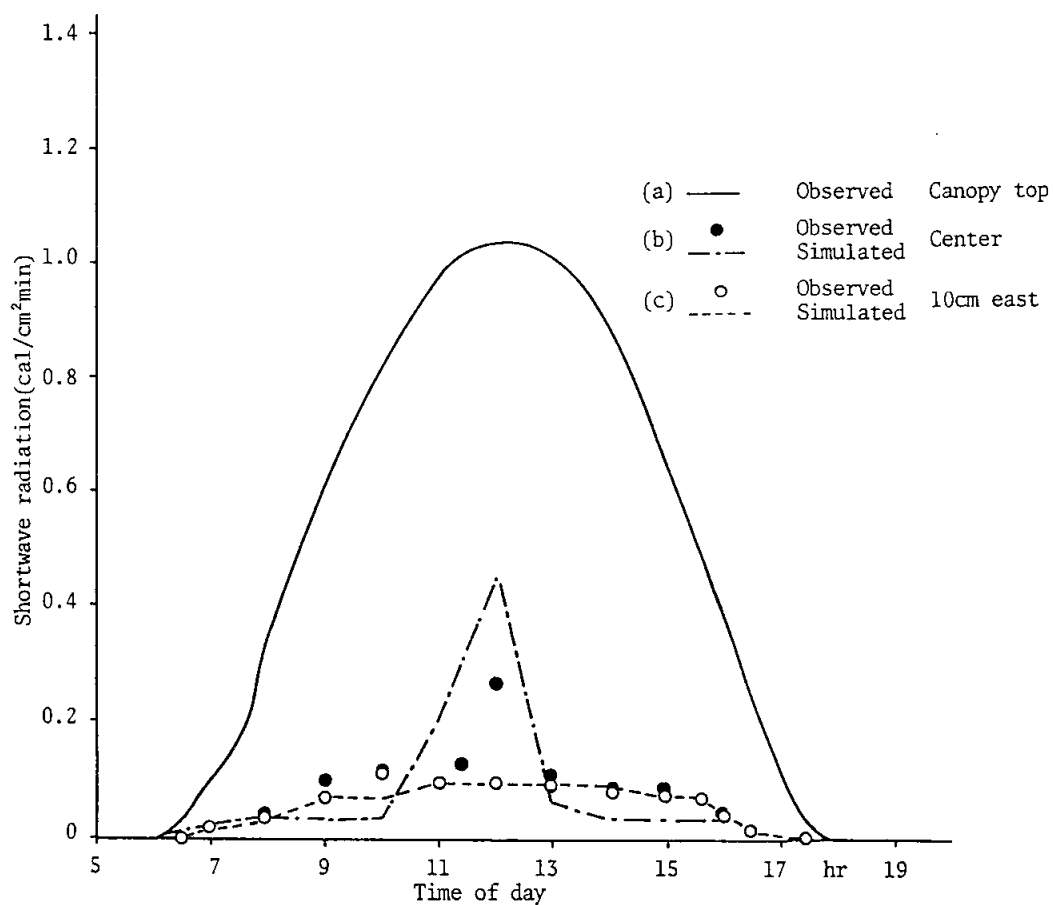


Fig. 18. Simulated and observed diurnal variation for 15 October of shortwave radiation at (a) the canopy top, and the soil surface of (b) the center between the rows and (c) 10 cm east of a row.

Summary

To estimate spatial distribution of direct and diffuse radiation, an attempt was made to describe the soybean canopy architecture by eleven parameters. The morphological measurements were pursued periodically throughout the growing season from July to October. These prototype soybean models constructed in the computer were arranged as the planting pattern in the field. A rectangular net of mesh size $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ was constructed over an unit region ($80\text{ cm} \times 30\text{ cm}$) between the rows as shown in Fig. 11, and the view factors from each of the nodes to the sky were calculated using hemispherical figures as shown in Fig. 12, 13.

Spatial distribution of shortwave radiation of each stages was calculated. The calculated shortwave radiation at the ground level agreed well with the measurement by tubetype solalimeters distributed on the soil surface as shown in Fig. 14, 15, 16, 17, 18.

This procedure can easily be expanded to estimate radiational environment of any crops, plant densities and growing stages.