

シロクローバ-冬雑草系競争ダイナミクス

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
巻/号	492
掲載ページ	p. 141-148
発行年月	2003年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



シロクローバ-冬雑草系競争ダイナミクス モデルパラメータの推定と双安定ダイナミクスの同定

駄本良平*・酒井憲司^{a)}・澁澤 栄・笹尾 彰

東京農工大学農学部 (183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8)

*現在: (榎前川製作所 技術研究所 (302-0118 茨城県守谷市立沢 2000)

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan

* Present address : Advanced Technology Lab., Maekawa MFG. Co., Ltd., Moriya, Ibaraki 302-0118, Japan

受付日: 2001年5月23日/受理日: 2002年11月20日

Synopsis

Ryohei DAMOTO, Kenshi SAKAI, Sakae SHIBUSAWA and Akira SASAO (2003) : The White Clover-Winter Weed System Competition Dynamics. The difference of white clover preceding crop ground and sweet corn preceding crop ground. *Grassland Science* 49, 141-148.

In this study, competition between white clover and weeds was ecologically observed for the establishment of a rational culture technique in white clover cultivation. The field test was conducted using white clover preceding plots and sweet corn preceding plots. In the white clover preceding plots, the white clover was extinct though the competition with the weed, and the weed finally flourished. In the sweet corn preceding plots, the white clover won the competition with the weed, and flourished, and the weed almost disappeared. Based on these above results, the difference of white clover growth in both test sections was clarified by a statistical technique and the isocline method. The competition relation in both test sections was modeled using Sakai-Ichimura model modified from Lotka-Volterra model. The competitiveness of the white clover with the weed in the white clover preceding plots and density effect of white clover affected on the competition coefficients α and β as system parameters of the model.

Key words : Competition, Weed, White clover, Lotka Volterra, Sakai-Ichimura Model.

Key words : Competition, Lotka-Volterra, Sakai-Ichimura model, Weed, White clover.

緒 言

シロクローバ (*Trifolium repens* L.) は世界中に広く分布し最も栄養がある茎葉飼料用のマメ科植物の1つであり、日本では重要牧草15草種の1つとして認められている。その利用は家畜の粗飼料としてイネ科牧草と共に栽培され、生

草、乾草、サイレージあるいは放牧などの形態で家畜に供与される⁵⁾。また、様々な代替農業や有機農法などの環境調和型農業が注目される中、化学肥料、除草剤の低減のために、カバークロップとして雑草管理等で畑地や果樹園での利用が行われている⁶⁾。また、シロクローバは根粒菌と共生し窒素を固定するが、シロクローバの窒素固定量測定では、北海道で172 kgN/ha、ニュージーランドでは374-687 kgN/haと報告されている⁷⁾。このため、刈倒し後、緑肥となり窒素肥料の使用量を減らすことができると考えられる。

一方で、シロクローバ等のマメ科植物では連作障害が懸念され土壌条件等で栽培に影響が出ることがいわれている²⁾。また、クローバとイネ科牧草の混播牧草地では、イネ科牧草は窒素肥料に敏感に反応するため成長量が多くなり、この影響のためクローバの成長は低下することがいわれている⁴⁾。

シロクローバは牧草地においてイネ科牧草との混播、畑地では輪作体系の1つとして栽培される。シロクローバ生育は環境によって大きく変動することが予想されるためシロクローバ栽培の合理的栽培法が必要となり、酒井、市村らは、シロクローバ-雑草系の群落競争モデルを提案し最適な播種密度の存在を予測した⁹⁾。彼等の研究は限定された栽培条件においてモデルの競争パラメータを推定しており、実用化をめざすためには、さらに広範な栽培条件下におけるパラメータ推定値の蓄積が必要となる。さらに、ここ10年来欧米において進展してきた「精密農法」においては、作物生育の空間的変動をセンシングし、それに応じた管理を施すことにより圃場への投入資材を低減しながら収量の増大、もしくは収入の向上を獲得することが目指されている。しかし、このシナリオの実現には多くの解くべき問題が残されている。最大の問題は、耕地の生態系もしくは作物群落の空間的変動生成のメカニズムが不明確であることである。SCHWINNINGらは、マメ科牧草、イネ科牧草、土壌窒素の3変数の連立常微分方程式を空間的に結合し、混播牧草の時空間変動モデルを提案

a) 連絡者: 酒井憲司 (TEL and FAX : 042-367-5755, E-mail : ken@cc.tuat.ac.jp)

一部は The MEMORIAL CIGR WORLD CONGRESS 2000 (2000年12月) において発表。

大要は農業機械学会第60回年次大会 (2001年4月) において発表。

本研究は、平成12年度科学研究費補助金課題番号12460112 (代表 笹尾 彰) および平成14年度科学研究費補助金課題番号14360148 (代表 酒井憲司) の補助を得た。

した¹¹⁾。ここでは、基礎モデルとしてロトカ・ボルテラタイプの競争モデルを改良して用いている。酒井らは植物群落の局所干渉をローカルダイナミクスとして定式化し、これによりグローバルな時空間変動の発生を数値実験によって例示した¹¹⁾。ここでも、基礎モデルはロトカ・ボルテラタイプの競争モデルを採用した。さらに、この逆問題として時空間変動データセットより、ローカルダイナミクスを同定するアルゴリズムを提案した。これら時空間変動モデル作成は比較的容易であるが、モデルパラメータの現実的な値の設定が実用上極めて重要である。

以上のような背景の下に、本研究ではロトカ・ボルテラ系の2種の植物群落競争モデルである酒井・市村モデルパラメータの現実的な値の推定を目的とする。これにより、過去に提案されている時空間変動モデルによるパラメータスタディの信頼性向上に資することができる。

ロトカ・ボルテラタイプの競争系は環境収容力と干渉係数の組み合わせにより、①常に1方が絶滅し片方が生存する場合、②常に両者とも共存する場合、③④初期値の優劣により絶滅と生存が決定される場合の4種類に分類される。本研究では同一圃場内で、できるだけ大きく異なる栽培条件を設定し、広範な領域でシステムパラメータの同定を行い、現実的な推定値の取得を課題とした。そのために、シロクロバ前作区とスイートコーン前作区の2試験区を設定した。通常、シロクロバを経年栽培した圃場にこれを鋤きこんで、再度シロクロバを播種することは行なわない。栽培実験を行う場合もコムギやコーンなどの他の作物を栽培した後に次年度播種するというのが一般的である。この要因として、アレロパシーが考えられる。藤井、余田らは前作のシロクロバを鋤きこむことによるアレロパシー活性は十分にありえることを示唆している¹⁾。また、その他の要因として土壤中窒素の影響が考えられる。シロクロバは窒素固定を行うため、緑肥として土壤に混入した場合、土壤中に窒素が大きく増加する⁹⁾。DAVIDSON, ROBSONらはシロクロバとライグラス(*Lolium perenne* L.)の競争において土壤中の窒素が過剰に存在するときにはライグラスが優勢になり、逆に、窒素が少ないときにはシロクロバが優勢になることを報告している³⁾。

本研究では、前作の違いによるシロクロバと雑草競争関係に見られるダイナミクスの相違を、アイソクライン法¹²⁾を適用して明確に示した。これにより、両前作区ともに双安定のダイナミクスにあることが判明した。さらに、モデルの競争パラメータに、これらの栽培条件の違いがどのように顕在化するかを調べた。

材料と方法

圃場試験は東京農工大学附属農場内の実験圃場2.5aを用いた。試験区では、ロータリ耕の後、肥料(くみあい複合肥料:アンモニア性窒素8%,可溶性リン酸8%,内水溶性リン酸6.5%,水溶性カリ8%)を標準量(5kgN/10a)散布した後、1999年10月8日にシロクロバ(雪印フィア)を播種した。設定播種密度は、0kg/10a,2kg/10a,4kg/10a,6kg/10

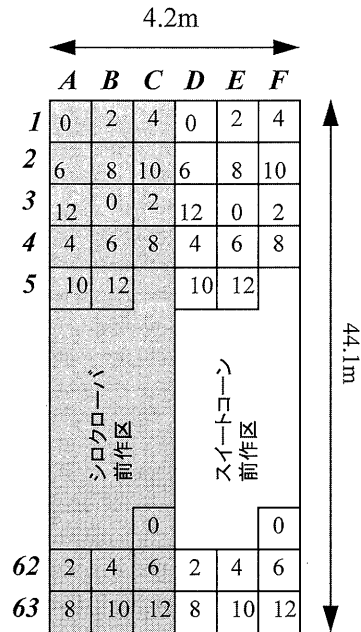


図1. 前作区と播種密度を制御した試験区の設定。
A~C列:シロクロバ前作区。
D~F列:スイートコーン前作区。
数字は播種密度(kg/10a)。

a, 8kg/10a, 10kg/10a, 12kg/10aの7段階、前作の種類はシロクロバ前作区とスイートコーン前作区の2種類、試験期間中の抜き取り調査回数は9回、反復回数は3回で、計379のプロットが必要である。そのため、図1のように、幅4.2m、長さ44.1mのは場を、A, B, C, D, E, F列、1-63列の計379プロットに分割した。各プロットの寸法は0.7m×0.7mである。A, B, C列がシロクロバ前作区、D, E, F列がスイートコーン前作区に相当する。図中のプロット内の数字は設定された播種密度を示している。各調査日においては、7段階の播種密度それぞれに3反復の抜き取り調査を行うため、計21個のプロットを使用した。なお、シロクロバ前作区の抜き取り調査日は、10日8日の播種日より起算して、14日目、42日目、70日目、98日目、126日目、156日目、182日目、214日目、298日目の9回であった。また、スイートコーン前作区の抜き取り調査日は、10日8日の播種日より起算して、28日目、56日目、84日目、112日目、140日目、168日目、196日目、224日目、252日目の9回であった。

シロクロバ前作区に相当するA-C列では、1996年9月にくみあい複合肥料(8kg/10a)を散布後に播種し3年間管理を加えずにシロクロバ(品種フィア)を栽培した。スイートコーン前作区に相当するD-F列においては、スイートコーンを1998年5月上旬に播種して8月上旬まで栽培した。

生長量の測定に際しては、625cm²(25cm×25cm)のコードラート内のシロクロバと雑草をすべて抜き取り、シロクロバと雑草それぞれの個体数、草丈、現存量を求めた。枯死した個体は測定の対象から除外した。現存量は60℃で12

時間以上風乾燥し求めた。雑草の個体数はコドラート内のすべてを計数して求めた。採取サンプル全体の10分の1についてシロクローバの茎数を数え、これから全体を推定した。雑草とシロクローバの草丈についてはランダムに選んだ5個体について求めた。上述の様に、各前作区の各播種密度に関して3反復し、その平均を1m²あたりの現存量に換算した。

結果と考察

1. シロクローバ・雑草の競争過程

(1) 生育過程の概要

シロクローバ前作区 (A-C 列) およびスイートコーン前作区 (D-F 列) のシロクローバと雑草は、播種後約 10 日目に降水がありその直後に出芽した。雑草の種類として、ホトケノザ (*Lamium amplexicaule* L.), ハコベ (*Stellaria media* L. Villars), スズメノカタビラ (*Poa annua* L.), セイヨウタンポポ (*Taraxacum officinale* Weber) が観察された。1 月上旬 (84 日目) 頃には、ホトケノザの発生が試験区全体に広がっていることが確認された。2 月中旬 (126 日目) 以降、A, B 列でハコベが多く存在し 3 月以降には試験区全体に多くのナズナ (*Capsella bursa-pastoris* L. Medik) が観察された。試験区全体に多く見られたホトケノザは 3 月上旬まで成長しそれ以降枯死しはじめた。ナズナは 5 月上旬から枯れはじめたが、それ以降、枯死した状態で直立し測定終了日まで分解されず残存した。シロクローバ前作区 (A-C 列) のシロクローバは、3 月中旬 (156 日目) までには激減し 4 月上旬 (182 日目) には大半が死滅した。5 月中旬以降 (224 日目) のスイートコーン前作区 (D-F 列) では、シロクローバ群落の繁茂が観察され雑草の存在は少なかった。

(2) 現存量の推移

図 2 にスイートコーン前作区 (D-F 列) におけるシロクローバと雑草の現存量変化を示した。シロクローバの乾物量は播種密度に比例しながら 84 日目 (1 月 1 日) まで増加し

た。それ以降、2 kg/10 a 区と 4 kg/10 a 区において緩やかに増加傾向が継続したが、12 kg/10 a 区、10 kg/10 a 区、8 kg/10 a 区の高密度区では 100 日目以降急速にシロクローバが減少したが、196 日目 (4 月 23 日) 以降急激に増加した。112 日目 (1 月 29 日) では高密度区ほど現存量は多くなったがスプリングフラッシュを経て測定終了時 (6 月 17 日) には、低密度区ほど現存量が多くなり、播種密度に対する反応が逆転した。雑草現存量は、168 日目 (3 月 25 日) まで増加し、高播種密度区ほど抑制された。これはシロクローバの生育に対応している。168 日目 (3 月 25 日) 以降、枯死により雑草量は急減した。196 日 (4 月 23 日) には全ての試験区で雑草が絶滅した。シロクローバが雑草に優占するまでは、播種密度が有効に作用するが雑草が絶滅した以降は、シロクローバの種内競争が大きくなり播種密度に対するクローバ生長の反応が逆転する。

図 3 にシロクローバ前作区 (A-C 列) におけるシロクローバと雑草の現存量変化を各々示した。初期段階ではシロクローバの現存量は播種密度が高いほど多く 100 日目 (1 月 17 日) まで増加した。この時点では 10 kg/10 a 区や 8 kg/10 a 区が大きな値を示し、2 kg/10 a 区と 12 kg/10 a 区はその約半分の現存量を示した。この結果は、最高播種密度区 12 kg/10 a 区において、必ずしもクローバ生育量が最大となるわけではなく、10 kg/10 a 区や 8 kg/10 a 区に最適な播種密度が存在することを示している。これはクローバの生育量に対して播種密度が正負 2 種の効果を発揮することを暗示している。前者は密度非依存効果であり、後者は密度依存効果である。雑草の現存量は、100 日目までは、高密度区ほど抑制されていたが、緩やかに増加し 100-126 日目の間に急激に増加した。それ以降は再び緩やかに増加した。

2 つの前作区の設定がシロクローバと雑草の生育に与える影響の有無を t 検定で調べた。すなわち、①シロクローバ現存量、②雑草現存量、③シロクローバ現存量と雑草現存量の

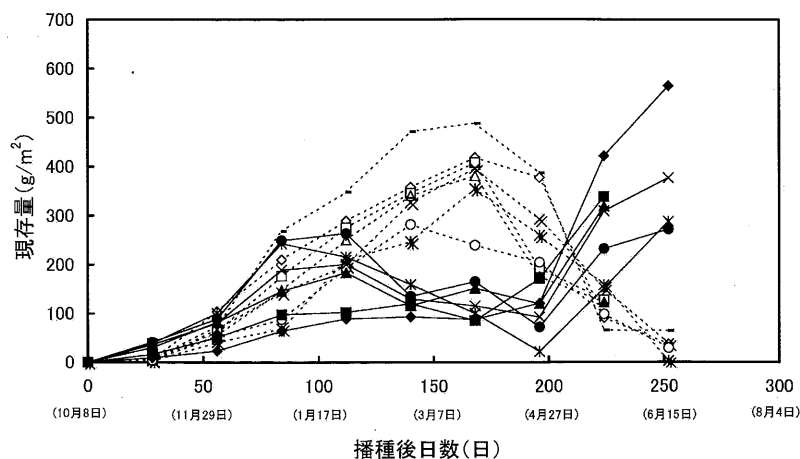


図 2. スイートコーン前作区における現存量の推移。
 実線：シロクローバ；2 kg/10 a (◆), 4 kg/10 a (■), 6 kg/10 a (▲),
 8 kg/10 a (×), 10 kg/10 a (*), 12 kg/10 a (●).
 破線：雑草；0 kg/10 a (-), 2 kg/10 a (◇), 4 kg/10 a (◊), 6 kg/10 a
 (△), 8 kg/10 a (××), 10 kg/10 a (**), 12 kg/10 a (○).

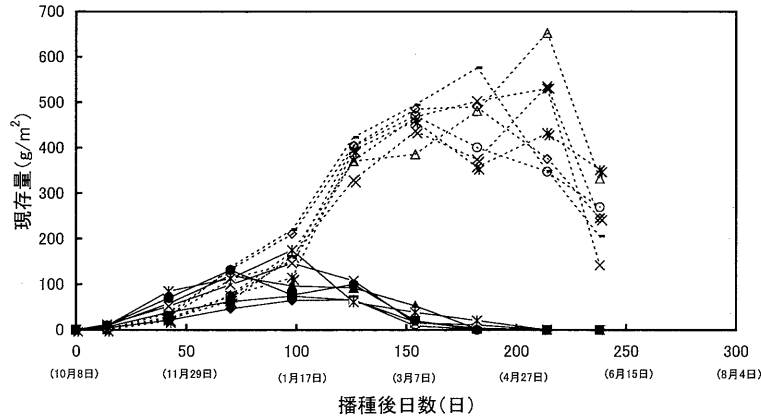


図3. シロクロバ前作区における現存量の推移。
 実線：シロクロバ現存量；2kg/10a (◆), 4kg/10a (■), 6kg/10a (▲),
 8kg/10a (×), 10kg/10a (*), 12kg/10a (●)。
 破線：雑草現存量；0kg/10a (-), 2kg/10a (◇), 4kg/10a (◇), 6kg/10a
 (△), 8kg/10a (××), 10kg/10a (**), 12kg/10a (○)。

表1. シロクロバ現存量, 雑草現存量および合計現存量
 における前作区間の t 検定結果.

時期	対象植物	t 値
冬期	シロクロバ	2.932**
冬期	雑草	2.110*
冬期	シロクロバ+雑草	5.928***
春期	シロクロバ	7.762***
春期	雑草	9.855***
春期	シロクロバ+雑草	1.073

* $t_5(0.005)=4.032$

** $t_5(0.025)=2.571$

*** $t_5(0.050)=2.015$

冬はシロクロバ前作区では 98 日目,
 スイートコーン前作区では 112 日に採取。
 春はシロクロバ前作区では 214 日目,
 スイートコーン前作区では 224 日に採取。

合計, の3者に対する前作区の違いの影響を, 冬期・春期に採取したデータに関して t 検定によって調べた。冬期として, シロクロバ前作区では 98 日目, スイートコーン前作区では 112 日に採取したデータを用いた。春期としてシロクロバ前作区では 214 日目, スイートコーン前作区では 224 日目に採取したデータを用いた。危険率 1%, 5%, 10% 相当の t 値を示したが, 春期におけるシロクロバと雑草の合計現存量のみ, 有為差を検出できなかった。これらから, シロクロバと雑草の生育期の大半は, 前作区の影響が存在することが示された。

以上により, 2つの試験区ではシロクロバ, 雑草の生育が大きく異なったが, 両者ともに播種密度に対する密度依存効果と密度非依存効果が確認され, 両者の強度の違いが, 生育の違いとして顕在化されたものと考えられる。

2. シロクロバ・雑草競争モデルによる
 ダイナミクスの同定

(1) アイソクライン

シロクロバ前作区およびスイートコーン前作区でのシロクロバ-雑草系競争の動態について, アイソクライン法を用いて検討した。一般的な競争モデルであるロトカーポラモデルは次式のように表せる。

$$\frac{dx}{dt} = r_x x \left(1 - \frac{x + \alpha y}{K_x} \right)$$

$$\frac{dy}{dt} = r_y y \left(1 - \frac{y + \beta x}{K_y} \right) \tag{2}$$

これをシロクロバと一年生雑草の競争を表現するために改良したものが, 次式の酒井・市村競争モデルである⁹⁾。多年草であるシロクロバの繁茂により, 一年草の雑草は埋土種子の発芽機会自体を失われるすることになる。モデルではこの過程を, 雑草の環境収容力 K_y を $K_y - x$ とすることで記述した。

$$\frac{dx}{dt} = r_x x \left(1 - \frac{x + \alpha y}{K_x} \right) \tag{3}$$

$$\frac{dy}{dt} = r_y y \left(1 - \frac{y + \beta x}{K_y - x} \right) \tag{4}$$

但し,

- x: シロクロバ現存量,
- y: 雑草現存量,
- r_x : シロクロバ内的自然増加率,
- r_y : 雑草の内的自然増加率,
- α : 雑草のシロクロバに対する競争係数,
- β : シロクロバの雑草に対する競争係数,
- K_x : シロクロバの環境収容力,
- K_y : 雑草の環境収容力,

とする。

酒井・市村モデルのアイソクラインは, 図4各図に示された2直線であり, (5) 式, (6) 式で示され, モデルパラメータの条

$$x + \alpha y = K_x \tag{5}$$

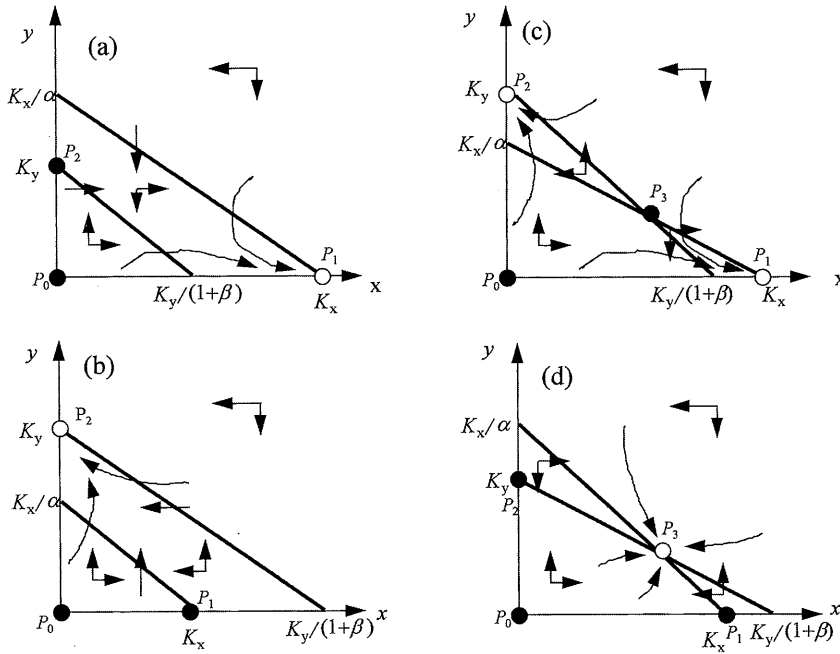


図4. 酒井・市村モデルのアイソクラインと解軌道の進み方。
安定定常点 (○), 不安定定常点 (●).
矢印は解軌道を示す。

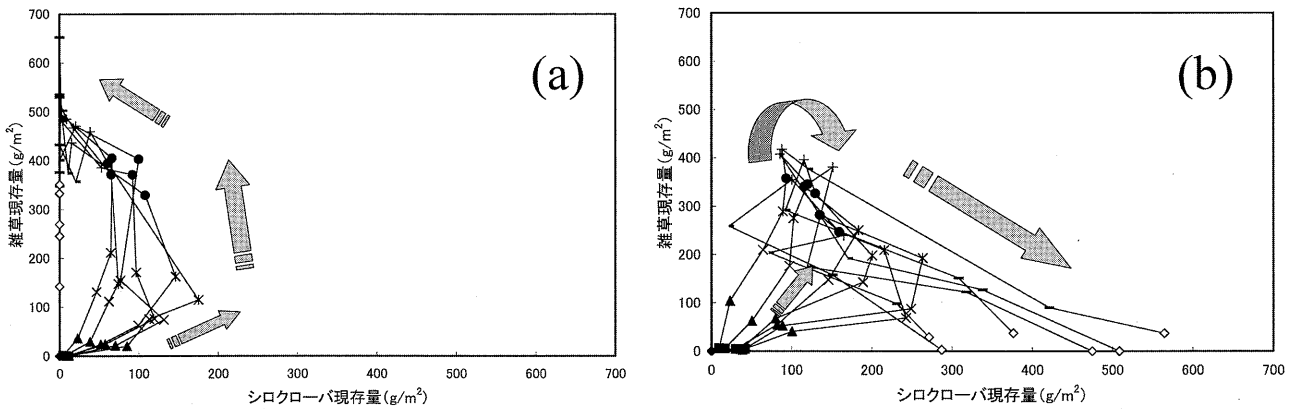


図5. シロクロバ-雑草相空間上の解軌道
(a) : シロクロバ前作区, ◆ (0日目), ■ (14日目), ▲ (42日目), × (70日目), * (98日目), ● (126日目), + (154日目), - (182日目), - (214日目), ◇ (238日目).
(b) : スイートコーン前作区, ◆ (0日目), ■ (28日目), ▲ (56日目), × (84日目), * (112日目), ● (140日目), + (168日目), - (196日目), - (224日目), ◇ (254日目).

$$y + (1 + \beta)x = K_y \quad (6)$$

件により, 図4 (a)-(d)の4種類に分類される。(a)は $\alpha < K_x/K_y, \beta > K_y/K_x - 1$ であり, 定常点 P_1 に収束し, 雑草は絶滅してシロクロバのみ生存する。(b)では $\alpha > K_x/K_y, \beta < K_y/K_x - 1$ であり, 定常点 P_2 に収束し, シロクロバは絶滅して雑草のみ生存する。(c)では $\alpha > K_x/K_y, \beta > K_y/K_x - 1$ であり, P_1 と P_2 という2つの安定定常点が存在するが, 初期状態の優劣によって, どちらかが絶滅し残りが生存する。(d)では $\alpha < K_x/K_y, \beta > K_y/K_x - 1$ で, 安定定常点 P_3 に収束し, 両者は共存する。

シロクロバと雑草の現存量をそれぞれ x 座標, y 座標にとってプロットし, 図5のように解軌道を描いた。2つの前作区には大きな差があることがわかる。シロクロバ前作区では雑草が優勢となり安定定常 P_2 に収束する。これは, 図4の(b)もしくは(c)に対応する。一方, スイートコーン前作区ではシロクロバが優勢になり安定定常点 P_1 に収束する。これは, 図4の(a)もしくは(c)に対応する。

(2) シロクロバ-雑草系群落競争モデルの
パラメータ同定

モデルのパラメータとして, 内的自然増加率 r_x, r_y , 環境収容力 K_x, K_y , 競争係数 α, β を下記のように求めた。

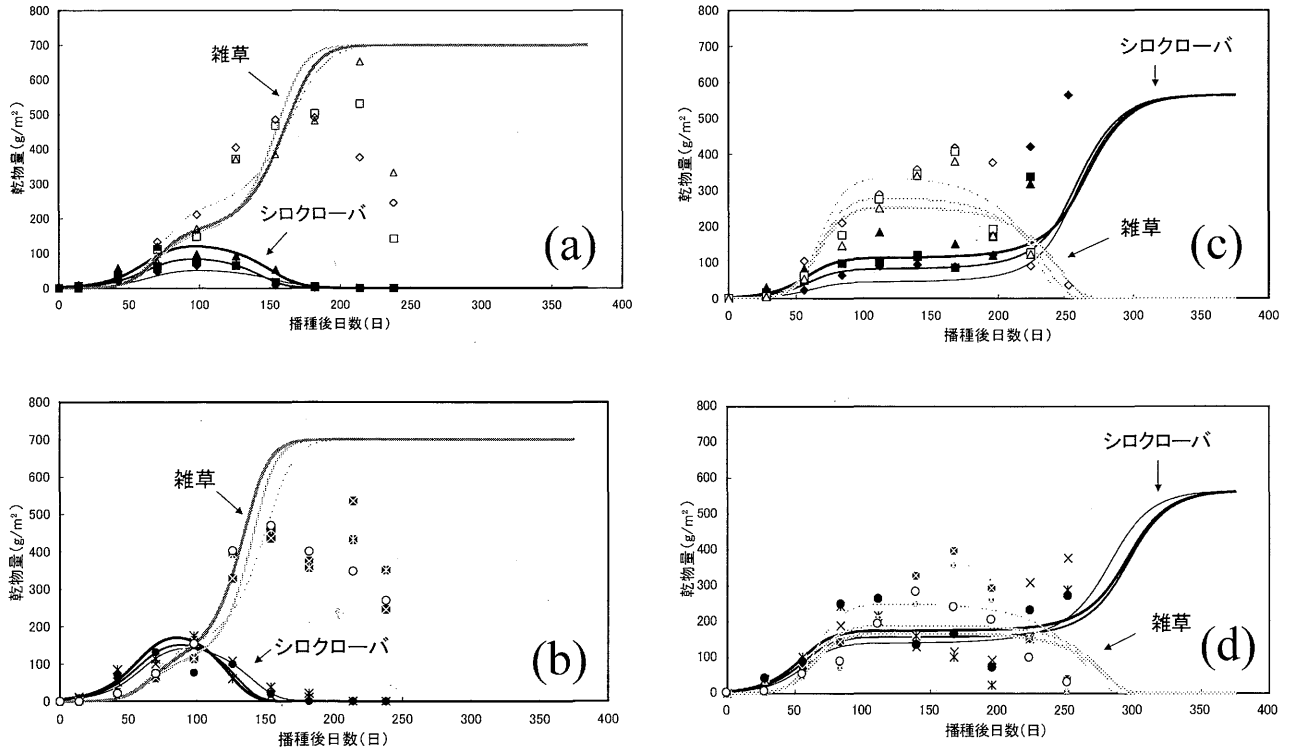


図6. 酒井・市村モデルによるシミュレーション結果.

(a): シロクロローバ前作区 (2~6 kg/10 a).

(b): シロクロローバ前作区 (8~12 kg/10 a).

(c): スイートコーン前作区 (2~6 kg/10 a).

(d): スイートコーン前作区 (8~12 kg/10 a).

シロクロローバ実測値: 2 kg/10 a 区 (◆), 4 kg/10 a 区 (■), 6 kg/10 a 区 (△),

8 kg/10 a 区 (×), 10 kg/10 a 区 (*), 12 kg/10 a 区 (●).

雑草実測値: 2 kg/10 a 区 (◇), 4 kg/10 a 区 (□), 6 kg/10 a 区 (△), 8 kg/10 a

区 (× (白)), 10 kg/10 a 区 (* (白)), 12 kg/10 a 区 (○).

シロクロローバと雑草の内的自然増加率 r_x , r_y は両前作区においてマルサスの方程式より推定した。すなわち, $x = x_0 e^{rt}$ を満たす, r を実データより片対数変換による線形最小2乗法によって決定した。シロクロローバ環境収容力 K_x として最大収量 565 g/m^2 を用いた。雑草環境収容力 K_y は, 枯死した個体を測定の際除外したため 0 kg/10 a 区の現存量データからの推定に困難があった。そのために両前作区ともに枯死した個体を考慮した場合の全試験区における夏雑草の最大発生量の概数 700 kg/m^2 を K_y とした。シロクロローバ種子播種量をシロクロローバ初期値 x_0 とした。雑草の初期値は両前作区ごとの 0 kg/10 a 区において, ロジスティック方程式 $dy/dt = (r - by)y$ を下記の手順で求めることによって得た。まず, r (雑草の内的自然増加率) はマルサスの方程式から線形最小2乗法で求めた 0.124 を適用した。増加率の抑制を表すパラメータ b は1回目の測定 (シロクロローバ前作区では14日目, スイートコーン区では28日目) の全播種密度区における平均雑草現存量とモデルの誤差を評価関数として, 総当たり方によって最適な b を求めた。微分方程式の解法にルンゲクッタ法をもちいた。このパラメータが決定したロジスティックモデルによって0日目における雑草現存量を計算し, それを雑草の初期値 y_0 とした。

アイソクラインにより, シロクロローバ前作区では $\beta > K_y / (K_x - 1)$, スイートコーン前作区では図4の(b)と(c)の共通条件 $\alpha > K_x / K_y$, にて α, β の推定範囲を大幅に絞り込み, その範囲内で総当たり法によって, 評価関数が最小となる競争係数 α, β を同定した。なお, シロクロローバ前作区についてはシロクロローバ乾物量と播種後98日目までの雑草乾物量の誤差を評価関数とし, スイートコーン前作区においてはシロクロローバおよび雑草乾物量の誤差を評価関数とした。

シロクロローバ前作区およびスイートコーン前作区の2-12 kg/10 aにおけるシロクロローバと雑草のモデリング結果を図4に示した。シミュレーション結果は初期成長における共存, 雑草とシロクロローバの極大, スプリングフラッシュによる変局点などの特徴を良く記述できている。ただし, 図5-bにおいては, 冬から春に向けて雑草優勢から, シロクロローバ優勢へと急激に変化している。この結果は, 秋冬と春夏において異なるモデルの適用も検討すべきであることを示唆している。

α, β の同定結果をシロクロローバ前作区について表2, スイートコーン前作区について表3に示した。得られたパラメータは両前作区においてともに, 双安定のダイナミクスを有することを示している。これは, 初期状態における優劣が

表2. シロクローバ前作区の競争モデルのパラメータ.

同定値	2 kg 区	4 kg 区	6 kg 区	8 kg 区	10 kg 区	12 kg 区
α	2.288	3.109	2.685	2.935	3.935	3.417
β	7.492	4.883	3.062	2.493	2.434	1.868

推定値	2 kg 区	4 kg 区	6 kg 区	8 kg 区	10 kg 区	12 kg 区
r_x				0.057		
r_y				0.125		
K_x			565			
K_y			700			
シロクローバ初期値 (gm^{-2})	0.98	1.96	2.94	3.92	4.9	5.88
雑草初期値 (gm^{-2})				0.063		

表3. コーン前作区の競争モデルのパラメータ.

同定値	2 kg 区	4 kg 区	6 kg 区	8 kg 区	10 kg 区	12 kg 区
α	1.521	1.71	1.775	1.69	2.138	2.316
β	6.899	4.117	2.964	2.2	2.231	2.03

推定値	2 kg 区	4 kg 区	6 kg 区	8 kg 区	10 kg 区	12 kg 区
r_x				0.057		
r_y				0.125		
K_x			565			
K_y			700			
シロクローバ初期値 (gm^{-2})	0.98	1.96	2.94	3.92	4.9	5.88
雑草初期値 (gm^{-2})				0.124		

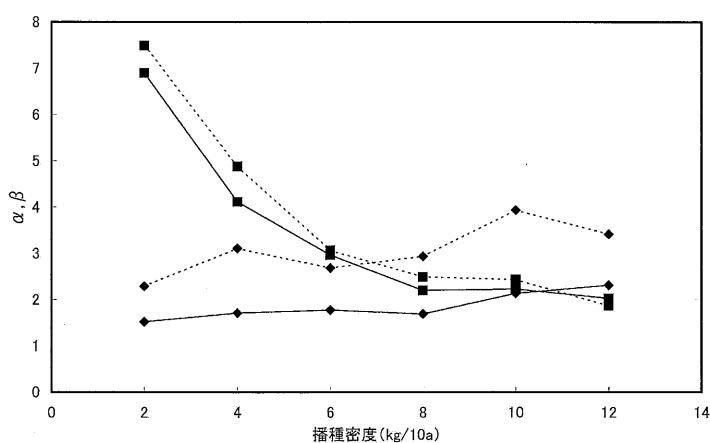


図7. 干渉係数 α , β に対する播種密度の影響

その後の最終的な優先と絶滅を、それぞれ決定することを示している。なお、既報⁹⁾で得られたダイナミクスも同様に双安定であった。

播種密度と α , β の関係を図7に示した。両前作区共に、 α は播種密度に大きな影響を受けず、ほぼ一定値となった。さらに、両前作区間を比較すると、 α はシロクローバ前作区における方がスイートコーン区よりも高い値をった。すなわち、シロクローバ前作区では雑草がシロクローバに対してより優勢であったことが、 α の増大という形でモデルパラメー

タに定量化されている。

一方、 β は播種密度に反比例し、播種密度が大きい程 β は小さくなる。播種密度が必ずしも、シロクローバの各生長ステージの現存量に比例していないことを考えると、シロクローバの密度効果は何らかの働きをしているものと考えられるが、更なる実験的、理論的検討が必要である。

なお、シロクローバ前作区とスイートコーン前作区という2つの栽培条件の違いが、何故、シロクローバと雑草の関係性に大きな影響を与えたかに関しては、冒頭に述べたよう

に、アレロパシーや窒素の蓄積に関して文献的に推察するのみである^{1,2,4)}。しかし、これらもしくはそれ以外の要因の影響を明確に検出し得る実験を考案できれば、それらの影響を競争係数 α , β によって定量化し、そのダイナミクスを推定することもまた可能である。

結 語

本研究では、有用なシロクローバと雑草の競争モデルを再現するため、より現実的なモデルパラメータを実験的に推定する事を目的に、大きく異なる2つの栽培条件であるシロクローバ前作区とスイートコーン前作区で栽培試験を実施した。

その結果、シロクローバ前作区ではシロクローバは雑草に対して劣勢であるが、スイートコーン前作区では比較的優勢であることが明示された。更に、シロクローバ前作区における雑草の優勢性が競争係数 α に、両試験区におけるシロクローバの密度効果が β に定量的に顕在化している可能性を示した。実験的に得られたモデルパラメータより、両前作区においてともに、双安定のダイナミクスを有することが判明した。これは、初期状態における優劣がその後の最終的な優先と絶滅をそれぞれ決定することを示している。

ダイナミクスが図4-a(シロクローバ優占, 雑草絶滅), では、放置していてもシロクローバが優占し、雑草は完全に抑制できる。これに対して、図4-b(シロクローバ絶滅, 雑草優占)の場合には、播種密度や土壌条件そのものを大幅に改変し、ダイナミクスそのものを変化させる必要がある。これに対して、図4-c(初期状態に依存し、どちらかが絶滅)の双安定のダイナミクスでは、初期の栽培管理が重要であることを示している。

謝 辞

東京農工大学農学部、塩谷哲夫教授、村松明治助教授、日本植物調節剤研究会顧問、渡辺 泰博士、農業研究センター、高柳 繁上席研究官、浅井元朗主任研究官には有意義なご助言を頂き心より御礼申し上げます。また、有意義な御助言をいただいた審査委員各位に深く感謝申し上げます。

引 用 文 献

- 1) DAVIDSON, I.A., M.J. ROBSON and D.S.H. DRENNAN (1986) Effect of temperature and nitrogen supply on the growth of perennial ryegrass and white clover. 1. Carbon and nitrogen of mixed swards at low temperature. *Annals of Botany* 57, 697-708.
- 2) 藤井義晴・余田康郎・小野信一 (1993) アレロパシー活性の高

い緑肥作物を利用した雑草防除. 雑草研究 第32回講演会講演要旨, 144-145.

- 3) 平野 暁 (1977) 作物の連作障害. 農村漁村文化協会. 東京. pp. 28-30.
- 4) 岩城英夫 (1971) 草原の生態. 共立出版. 東京. p. 70.
- 5) ジェームス・デューク (1986) 世界有用マメ科植物ハンドブック. 雑豆輸入基金協会. 東京. pp. 404-409.
- 6) 草薙得一 (1994) 雑草管理ハンドブック. 朝倉書店. 東京. p. 321.
- 7) 西村修一・佐藤寛治・猪ノ坂正之・大久保忠旦・佐藤 庚・仁木巖雄・三秋 尚 (1984) 飼料作物学. 文永堂. 東京. pp. 146-147.
- 8) R. S. ルーミス・D. J. コナー (1995) 食料生産の生態学作物の生産過程と環境. 農林統計協会. 東京. pp. 122-124.
- 9) 酒井憲司・市村香織・笹尾 彰・澁澤 栄・イワヤンアスティカ (2000) シロクローバ-雑草系の群落競争モデルの提案. 農作業研究 35 (1), 1-6.
- 10) SAKAI K., S. SHIBUSAWA and A. SASAO (2001) Spatial dynamics of multiple competing weed species 2D-CML models and the methodology to identify the local dynamics. *Proceeding of Third International Weed Science Congress* (CD-ROM version), Manuscript number 177, foz do Iguassu-2000.
- 11) SCHWINNING S. and A.J. PARSONS (1996) Analysis of the Coexistence Mechanisms for Grasses and Legumes in Grazing Systems. *Journal of Ecology* 84, 799-813.
- 12) 寺本 英 (1997) 数理生態学. 朝倉書店. 東京. pp. 76-81.

要 旨

駄本良平・酒井憲司・澁澤 栄・笹尾 彰 (2003) : シロクローバ-冬雑草系競争ダイナミクス. モデルパラメータの推定と双安定ダイナミクスの同定. 日草誌 49, 141-148.

本研究では、シロクローバ栽培の合理的栽培法確立および耕地生態系空間的変動モデルの現実的なシステムパラメータを推定するためにシステムパラメータが大きく異なるであろう2つの異なる前作地において、シロクローバの生育実験を行いシロクローバと雑草間にみられる競争関係を生態学的に観察した。圃場試験は、1999年10月8日からシロクローバ前作区とスイートコーン前作区をもちいて行なった。シロクローバ前作区では、シロクローバは雑草に対して劣勢となり最終的には雑草が繁茂した。一方、スイートコーン前作区では、シロクローバは雑草に対して比較的優勢であり、最終的に雑草はほぼ消滅した。以上の結果から両試験区におけるシロクローバ生育の差違を統計的手法、アイソクライン法から示唆した。その結果、両前作区ともに、双安定のダイナミクスを有することが判明した。また、雑草の優勢度や、シロクローバ密度依存性の影響などが競争パラメータ α , β に定量的に顕在化することを示した。

キーワード: アイソクライン法, 競争, 雑草, シロクローバ, ロトカ-ホルテラモデル.