

アメリカにおけるミニマムティルと雑草防除(1)

宇都宮大学雑草防除研究施設 竹内安智

はじめに

筆者は1987年夏から、およそ1年間、北米、ノースカロライナ州立大学作物学部滞任し、ミニマムティル(レデュースティル)の雑草防除の分野で著名な Worsham教授と Lewis教授の研究に参画し、また諸地域も訪ねてミニマムティルの実態について研究・調査したので、その大要を紹介する。

アメリカの中西部、南部や南東部の畑で風と雨による土壌侵蝕の被害が1930年代から目立つようになった。その原因は過度の耕耘と土壌表面が裸地状にされていることであった。これに対して政府は1935年から対策にのり出し、畑を階段状にしたり、等高線や帯状に耕耘したり、カバークロップを導入するなどの技術で対応してきた。また、20世紀初頭から始められたミニマムティル(土壌保全型農業で、耕耘回数が少ないか、全くない)の研究が1930年代の土壌侵蝕被害の発生を機会に活発に行われるようになったが、この栽培方法の「カギ」を握る中耕除草にかわる雑草防除手段がなく、この栽培方法は容易に普及しなかった。しかし、1940年代後半から中耕除草にかわる有力な手段として、除草剤が登場し、1966年には、はじめて不耕起栽培用の播種機が実用化され、1960年代と1970年代には非選択性の茎葉

処理剤のパラコートとグリホサートが開発され、さらに最近はずぐれた選択性除草剤が多数開発され、ミニマムティルは技術的に可能になった。

1. ミニマムティルの現状

圃場を耕起しないで播種溝に播種するか、ドリル播きする栽培形式の不耕起栽培(ノーティル、ゼロティル)は1972年には330万エーカー(132万ha)であったが、1987年には1,700万エーカー(680万ha)にまで急増した。また、不耕起栽培を含めた土壌保全型農業であるミニマムティルは現在、農耕地の1/3に当たる9,750万エーカー(3,900万ha)に達したとされているが、これは1963年当時の25倍に相当する面積である。この背景には1985年に施行された「Food Se-

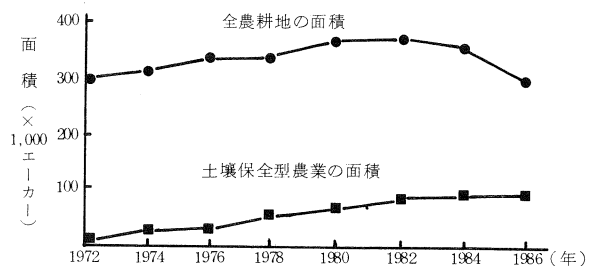


図 1. アメリカにおける全農耕地面積と土壌保全型農業・面積の推移

(アメリカ土壌保全技術情報センター)

curity Act」に基づいて土壌侵蝕の受け易い耕地は1990年までに何らかの形のミニマムティルを採用することが義務づけられたこともある。そして農務省は2010年には全耕地の75～90%がミニマムティルを採用するものと予想している。

ミニマムティルはトウモロコシでは草地でカバークロップ（マメ科牧草やムギ類）の後に栽培される形態で、またダイズではムギ類の後に栽培される形でそれぞれ東部と南東部ではじめて成功し、やがて広い地域に普及した。

アメリカでは土壌侵蝕を防止するために、いくつかの異なる土壌保全型栽培が行われており、それらに対する用語も多く使用されているが、ここでは広く一般的に採用されているミニマムティルについて解説する。この栽培法では、カバークロップや前作物の茎葉・雑草などが刈取りや、枯殺後、マルチされる。そのマルチの土壌表面のカバーの程度は耕起法により異なる。一般的に、畑の1/2以上の面積が植物茎葉の残渣でカバーされている栽培形態がミニマムティルとして扱われている。表1に示したように、耕起法は慣行の耕起法とミニマムティルに分類され、後者はさらに、No-Till（不耕起栽培）

表1. アメリカにおける畑の耕起法 (Worsham)

1. 慣行法 (Conventional tillage)
2. 土壌保全型耕起法 (Conservation Tillage, Limited Tillage, Minimum Tillage)
A レデュースティル (Reduced Till)
(a) マルチティル (Mulch-Till)
チーゼルディスク (Chisel disk)
チーゼルスウィープ (Chisel sweep)
(b) リッジティル (Ridge Till, Modified No-Till)
B ノーティル (不耕起, ゼロティル, No-Till, Zero-Till)

と Reduced Till（レデュースティル、耕耘回数の少ない栽培）に分類される。レデュースティルはさらに大きく2つに分類される。不耕起栽培では植物茎葉残渣の90～100%が土壌表面におかれているのに対して、マルチティルでは30～70%が地表面におかれている。不耕起栽培では作物播種前後に生育している前作物の茎葉・刈株や雑草を除草剤で枯殺した後に、種子が播溝に播かれるか、ドリル播きされ、他の部分は全く不耕起で栽培され、収穫まで中耕が行われないので除草剤だけで雑草が防除される。リッジティルでは不耕起栽培と同様に、前作物茎葉・刈株や雑草が除草剤で枯殺された後、前作物の刈株付近のうねの高い部分（全面積の1/3）が、浅く耕起され、作物が播種される。その後、除草剤が使用されるが、中耕除草も1回位行われる。この栽培方法は Modified No-Till（不耕起栽培の変形）ともいわれている。マルチティルでは前作物茎葉・刈株や雑草を枯殺した後、チーゼルプラウ（フィールドカルチベーターに類似）により、2～4インチ（5～10cm）の深さに耕起され、その後、ディスクハロー、またはチーゼルスweepにより整地される。ディスクハローが使用される場合は土壌混和处理剤が使用できるが、チーゼルプラウを使用する場合は土壌混和处理剤は使われない。播種後、土壌処理剤や茎葉処理剤が使用されるが中耕除草も1回以上行われる。

次に、耕耘・土壌攪拌の最も少ない不耕起法を数種の作物について示そう。トウモロコシは不耕起栽培法が採用された最初の作物であり、今でも不耕起栽培に占める割合が最も大きい。トウモロコシは草地やカバークロップ、あるいは前作物の刈後に作付され、マメ科牧草やムギ類と輪作されるか連作も行われている。輪作は

表2. トウモロコシとダイズの雑草防除法におよぼす耕起方法の影響

(Ross & Lembi, 1985)

作物の生育 ステージ	耕 起 方 法					
	作業項目	慣行法	Chisel Disk	Chisel Sweep	Ridge Plant	不耕起
播 種	耕耕 起起	Moldboard Plow ディスク(フィールド)カルチベーター ディスク(フィールド)カルチベーター	Chisel Plow ディスクハロー ディスクハロー	Chisel Plow チーゼルスウィープ		
	除草剤散布	土壌混和	土壌混和			
	播 種	播 種	播 種	播 種	リッジ播種	不耕起播種
発 芽	除草剤散布	土壌処理	土壌処理	土壌処理	土壌処理	土壌処理
	ホー除草	ロータリーキー	ロータリーキー			
	除草剤散布	早期茎葉処理	早期茎葉処理	早期茎葉処理	早期茎葉処理	早期茎葉処理
レーバイ, うね間の日陰	中耕(中耕)	中耕(中耕)	中耕(中耕)	中耕(中耕)	中耕(中耕)	
	除草剤散布	直接処理	直接処理	直接処理	直接処理	直接処理
	除草剤散布	茎葉処理	茎葉処理	茎葉処理	茎葉処理	茎葉処理
	(除草作業)	(手取除草)	(手取除草)	(手取除草)	(手取除草)	(手取除草)
	除草剤散布	スポット処理	スポット処理	スポット処理	スポット処理	スポット処理
収 穫	除草剤散布	リサイクル, ロープ(ダイズ)	リサイクル, ロープ(ダイズ)	リサイクル, ロープ(ダイズ)	リサイクル, ロープ(ダイズ)	リサイクル, ロープ(ダイズ)

病害虫・雑草問題を軽減し、土壌の改善もできる。中西部ではリッジティルにより栽培されるところが多い。リッジティルは特に排水の悪い土壌で採用されている。うねの上は適湿で地温が高いので、春の低温地帯に適した栽培方法である。

ダイズの不耕起栽培はトウモロコシに次いで多いが、地域によってはダイズの方が多いところもある。不耕起法によるダイズの作付は短時間で済むので、ワタやトウモロコシが先に作付され、次いでダイズが栽培されるが、たいがい

ムギ類の収穫直後に播種される。ムギの刈株付近に播種すると土壌水分が適度でダイズの生育がよい。この栽培方法によって、それまで不可能であった北部地域でダイズとムギ類の二毛作が可能になった。

ソルゴーは不耕起栽培により、単作か、ムギ類と輪作される。不耕起法によって早期に作付されると、生育期間が長くなり、収量が増加する。

アルファルファなどのマメ科牧草がムギやトウモロコシの刈株にそって不耕起のまま、ドリ

ル播きされる。春にはトウモロコシのマルチとして利用されたり、家畜の餌にもされる。

夏作物の収穫後にパラコートかグリホサートで雑草を枯殺した後に、冬ムギ類が不耕起のままドリル播きされる。多年生雑草のシバムギ、オーチャードグラスやセイバンモロコシなどの多発する畑はムギ類の不耕起栽培に適さない。

永久草地では年数を経ると、飼料価値の低い雑草が増え、牧草の生育が衰える。こうした時、不耕起のまま、新たに牧草が播種される。

南部ではバミューダグラスやバヒアグラスの草地に、秋に不耕起のまま、冬型牧草が播かれる。

2. ミニマムティルと土壌侵蝕

アメリカでは土壌侵蝕被害のおこる農耕地は全耕地の1/4におよび、土壌侵蝕量は被害の大きいところで、エーカー当たり年間25～50トン、平均でも、6トンに達する。図2に示したように、土壌侵蝕は南部平原、ハワイ・カリビアン、アパラチア、コーンベルトおよび山岳地域で特に大きい。アパラチア地域のノースカロライナ州では8%の傾斜地で表土が17年間に17.78cm流失したとされている。表土2.5cmが流亡すると、作物の収量は6%も減少することが報告されている。

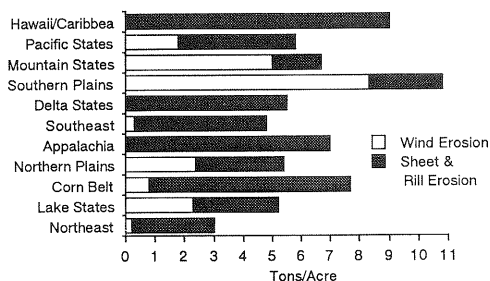


図2. アメリカの地域別の土壌侵蝕

(出典; USDA Soil Conservation Service)

一般的に慣行栽培は2～6%の傾斜地の圃場では不適当とされているが、ミニマムティルは2～6%の傾斜地でも可能であり、不耕起栽培は6～8%の傾斜地でもできる。図3に、ペンシルバニア州で行われたトウモロコシ畑(14%の傾斜角度)でのカバークロップや作物茎葉残渣のマルチによる土壌流亡に関する実験結果を示した。土壌流亡量は慣行栽培で14.37トン(エーカー)であったのに対し、不耕起栽培でトウ

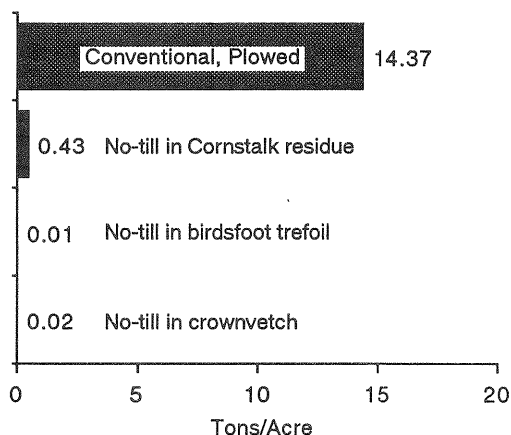


図3. 慣行法と不耕起法で栽培したトウモロコシ畑からの5カ月間での土壌流亡量(傾斜14%)

(出典; Pennsylvania State Univ. Extension Service)

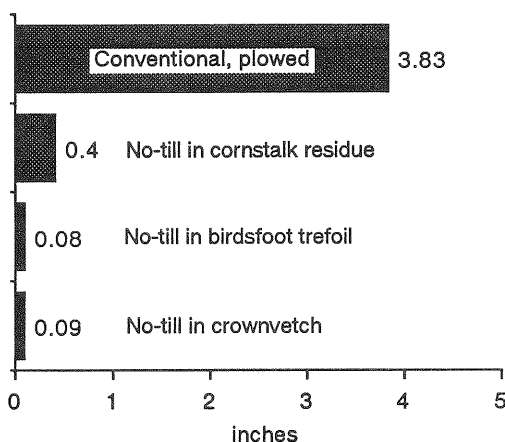


図4. 慣行法と不耕起法で栽培したトウモロコシ畑からの5カ月間での水の流出量(傾斜14%)

(出典; Pennsylvania State Univ. Extension Service)

モロコシ茎葉によりマルチされた時、0.43トン、カバークロップのミヤコグサ、またはクラウンベッチでマルチされた時にはそれぞれ0.01トンと0.02トンであり、茎葉のマルチによって土壌流亡量が顕著に防止される。また、その時の畑からの水の流失量は慣行栽培で14.37トン（エーカー）であったのに対し、不耕起栽培ではトウモロコシ茎葉マルチで0.43トン、ミヤコグサとクラウンベッチのマルチでは0.01トンと0.02トンであった。図5に、同時に行った除草剤（シアナジン）の流亡に関する実験結果を示した。シアナジンの流亡量は慣行栽培では5%，不耕起栽培でトウモロコシ茎葉でマルチした時、0.6%，2種類のマメ科牧草のマルチではいずれも0.2%以下であった。このように、不耕起栽培で植物茎葉残渣のマルチにより土壌が被覆されると、慣行栽培に比べて、土壌粒子だけでなく、水や化学物質（除草剤、肥料）の流出量は著しく減少するので、河川や湖水を汚濁、汚染することが少ない。また、カバークロップは土壌流亡、水分の流出を冬期の生育期間中だけ防止するだけでなく、作物が播種された春～夏

以降も防止し、畑から水分の蒸発も防ぐ。その後、カバークロップは腐って土壌中に有機物を供給し、かつ土壌の物理性改善にも役立つ。土壌表層2cmの有機物含量は5年間で1.5倍、10年間で2倍に増加したという報告がある。

カバークロップのマメ科牧草は土中に窒素を固定して次の作物の生育を促す。

ムギわらのマルチは雑草の発芽と生育を阻害する。その阻害効果は、ライムギ＞コムギ＞エンバク、オオムギの順に大きい。ムギわらマルチの雑草防除効果は遮光効果だけではなく、アレロパシー物質による影響が大きい。特に、ライムギわらの阻害効果が顕著で、オオクサキビの生長を著しく阻害する。マメ科牧草の茎葉マルチによる雑草抑制効果はムギ類に比べて10%位小さい。

ベッチやクリムソンクローバーなどのカバークロップは春、開花・結実すると、次に栽培したトウモロコシやダイズのなかに発生して、やっかいな雑草になるので作物播種の1～3週間前にパラコートやグリホサートにより枯殺される。

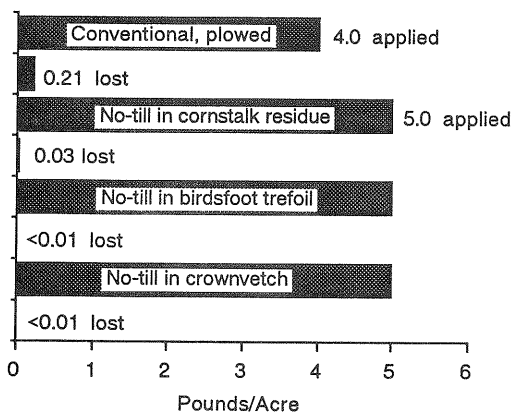


図5. 慣行法と不耕起法で栽培したトウモロコシ畑からの5カ月間でのシアナジンの流亡量
（出典：Pennsylvania State Univ. Extension Service）

3. ミニマムティルにおける作物の収量と経済効果

ここでは、ミニマムティルのなかで最も耕起・土壌攪拌が少ない不耕起栽培の場合を中心に述べる。

ノースカロライナ州でムギ刈後に、ダイズが慣行法と不耕起法により7年間栽培され、収量が比較された。エーカー当りの平均収量は除草剤を使用しない場合、慣行法では21ブッシェル、不耕起法では16ブッシェルであり、除草剤（パラコート+アラクロール+リニュロン）を使用した場合、慣行法では31ブッシェル、不耕起法

で30ブッシェルであり、収量は除草剤を使用しない時は、不耕起法で著しく低い、除草剤を使用した場合、これらの栽培方法の間で差がなかった。

インディアナ州の試験では、トウモロコシ130ブッシェルを生産するための経費は慣行法では192ドル、不耕起法で172ドルであった。イリノイ州の試験ではダイズを40ブッシェル生産するための経費は慣行法で140ドル、不耕起法で132ドルであった。テネシー州でムギ刈後に、ワタが慣行法と不耕起法により7年間栽培され、収量が比較された。エーカー当りの収量は慣行法では813ポンド、不耕起法で801ポンドであった。また、前年にワタを栽培した圃場に、ワタを慣行法と不耕起法により、5年間栽培した。エーカー当りの収量は慣行法で922ポンド、不

表 3. 異なる栽培方法におけるトウモロコシ生産の収支

(単位: ドル/エーカー)

項 目	慣行栽培	不耕起栽培
1. 収 入		
収 量 (ブッシェル/エーカー)	100.00	100.00
粗 収 入 (ドル/エーカー)	290.00	290.00
2. 変 動 経 費		
種 子 代	28.00	28.00
肥 料 代	55.00	55.00
除 草 剤 代	15.00	33.80
殺 虫 剤 代	10.50	10.50
耕 耘・播 種 (燃料)	13.50	5.90
労 賃 (耕耘・播種)	14.20	4.80
収 穫 (燃料・労賃)	45.00	45.00
3. 変動経費総計	173.20	164.70
4. 運用資金利子	8.66	8.24
5. 粗 収 入	108.14	117.07
6. 固 定 経 費		
機 械 代 (耕耘・播種・収穫など)	32.60	24.10
7. 土 地 代	28.00	28.00
8. 諸 経 費	13.86	13.18
9. 総 支 出 (3+6+7+8)	247.66	229.98
10. 純 利 益	42.34	60.02

(出典: No-Till Farming, ICI America, 1987)

耕起法で 895 ポンドであったが、生産費は前者で 350.9 ドル、後者で 310.8 ドルであり、不耕起法が有利であった。

ICI社はサウスカロライナ州、テネシー州、ミズリー州およびインディアナ州での数多くの試験結果をもとにして、慣行法と不耕起法によるトウモロコシとダイズの生産に要する経費や純利益について試算している。表3に示したように、トウモロコシの収量は2つの栽培方法により差がないものとしている。そして慣行法では、不耕起法に比べて、直接経費のうち、除草剤代金が8.8ドル(エーカー)安い、耕耘に要する費用(燃料代)と人件費が17ドル高い。また、慣行法は間接経費の機械の維持費が8.5ドル高いので、生産に要する総経費が慣行法で247.66ドル、不耕起法で229.98ドルとなり、純利益ではエーカー当り前者で42.34ドル、後者

表 4. 異なる栽培方法におけるダイズ生産の収支

(単位: ドル/エーカー)

項 目	慣行栽培	不耕起栽培
1. 収 入		
収 量 (ブッシェル/エーカー)	40.00	40.00
粗 収 入 (ドル/エーカー)	200.00	200.00
2. 変 動 経 費		
種 子 代	14.00	14.00
肥 料 代	25.00	25.00
除 草 剤 代	25.50	34.30
殺 虫 剤 代	2.75	2.75
耕 耘・播 種 (燃料)	13.50	5.90
労 賃 (耕耘・播種)	13.20	4.80
収 穫 (燃料・労賃)	35.00	35.00
3. 変動経費総計	128.95	121.45
4. 運用資金利子	6.45	6.07
5. 粗 収 入	64.60	72.48
6. 固 定 経 費		
機 械 代 (耕耘・播種・収穫など)	32.60	24.10
7. 土 地 代	28.00	28.00
8. 諸 経 費	10.32	9.62
9. 総 支 出 (3+6+7+8)	199.87	183.27
10. 純 利 益	0.13	16.73

(出典: No-Till Farming, ICI America, 1987)

で 60.02 ドルと見積っている。表 4 においても、ダイズの収量は 2 つの栽培方法により、差がないとしている。そして慣行法では不耕起法に比べて除草剤代金が 8.8 ドル安い、耕耘のための燃料費と人件費が 16 ドル高く、機械の維持費も 8.5 ドル高くなり、生産に要する総経費は慣行法で 199.87 ドル、不耕起法で 183.27 ドルとなり、純利益は前者で 0.13 ドルに対して後者で 16.73 ドルと見積っている。

トウモロコシやダイズの慣行栽培では 12~13 種類の機械が必要であるのに対して、不耕起法では小型のトラクター、播種機と散布車があればよいので、機械の購入費・維持費が長期的には著しく安く済む。トウモロコシの播種機についてみると、慣行法では 25 馬力の機械が使用されていたが、不耕起法では 15 馬力の小型の機械になっている。

近年、アメリカでは農産物は過剰・輸出不振で、価格が安く低迷しているので、生産コストを下げ、農産物をより安く生産する努力が続けられている。こうしたなかで、従来、ミニマムティルは土壤保全を第 1 目的としてきたが、現在はむしろ、低コスト農業を可能にする栽培法として普及・拡大されている。

4. ミニマムティルにおけるマイナスインプクト

ミニマムティルは農業や農業環境に対して多くのプラスインパクトをもっているが、一方ではいくつかのマイナスインプクトをもっている。ここではミニマムティルのうち、土壌の耕耘・攪拌の最も少ない不耕起栽培を中心に説明する。Worsham は不耕起栽培はノースカロライナ、バージニア、メリーランド、ライン、オハイオ、ペンシルバニア、インディアナ、イリノイ、ア

イオワ、ウィスコンシン、ケンタッキー、テネシー、ネブラスカとその他、一部の北東地域には適しているが、全米には必ずしもあてはまらないとしている。

不耕起栽培では作物の収量は乾燥する条件では慣行法と同程度か、やや多いが、一般的には若干少ない場合が多い。初期生育が良好で雑草との競合期間が短く、除草必要期間の短いトウモロコシやダイズでは比較的問題は少ないが、初期生育が遅く、雑草との競合期間の長いラッカセイやワタなどでは不耕起栽培は必ずしも成功しない場合が多い。また、これらの作物を不耕起法により栽培し、雑草防除を完全に行っても収量が十分でない。特にデルタ地域のミシシッピ、アーカンソー、ルイジアナなどでは、ダイズの不耕起栽培による収量は慣行法よりも 8~33% 少ない。なお、デルタ地域は平坦で土壌侵蝕被害の少ないところとされている。また、現在、必ずしも優れた除草剤のないタバコでも不耕起栽培は成功しないことがしばしばある。

不耕起栽培は砂質やシルトロームの土壌では容易であるが、重粘質で排水不良の土壌には適さない。土壌はムギワラなどのマルチを使用しないと固結しやすく、肥料は特に酸性肥料が使用され、しかも表層に施用されるので、土は酸性化しやすく、肥料の効果があがりにくい。ムギワラなどでマルチされた土壌表層の温度は春先に上りにくい。

不耕起栽培では、土壌表層がムギワラなどでマルチされており、処理した除草剤の土壌表面への落下が妨げられる。一般的に、土壌表面の 85% が植物茎葉残渣でマルチされると、処理された除草剤の 20% がそれに吸着され、除草効果が低下する。さらに、表層土壌の有機物含量が高く、これらに除草剤が吸着されて不活性化し

たり、この付近での微生物分解を受け易い。そして、土壌の酸性化が進むと、トリアジン系除草剤はプロトネーションを受け、土壌に吸着・不活性化される。

不耕起栽培では耕起や中耕による雑草防除が省略され、除草剤依存度が高まり、それに要する費用は慣行法に比べて40~50%多くなり、他のミニマムティルでも10~20%多くなるとされている。ミニマムティルの成功のカギは雑草防除のでき具合にかかっているといわれるほど重

要であり、農家はたえず圃場の雑草の発生に注意し、随時これに対応しなければならない。

ミニマムティルでは作物茎葉や雑草によるマルチが病虫害の発生を助長するので、これの対策も必要になる。ミニマムティルでは栽培管理の種類、回数が少なくなるので、その各々には高度な技術が要求される。このため、農家がミニマムティルを実施する場合には、先ず圃場の1/4位の面積でその技術を十分修得してから、面積を拡大するよう指導されている。

(次号に続く)

ノースカロライナの恩師 Worsham 先生

先生は「雑草学」の授業を担当され、雑草の生理・生態、作物との競合、除草剤の科学、合理的な雑草防除のあり方や新しい研究動向など多岐にわたる内容について講義された。授業には、あらかじめ念入りに準備された豊富な資料、スライドやOHPが使われ、学生にたいして気楽に質問や意見が出せるよう、特に配慮された。25人の学生のなかには、リンゴやニンジンを啗ったり、コーラを飲む者、棒についた飴をなめる女子学生、帽子をかぶったランニング姿の学生、あるいは子連れもいたが、特に注意はなされなかった。先生はアメリカ雑草学会最優秀教育賞を受賞されている。学生にしばしば大きなテーマのレポートを要求された。内容だけでなく、文章の書き方や論文の作り方に至るまで細かく、指導された。先生は学会の論文賞も受賞されており、論文の作り方には定評があった。

授業を担当した学期中は出張をひかえ、いつ

でも学生の相談にのれるように、早朝から夕方までオフィスを離れなかった。また、雑草学教室の年配の秘書、エドナが休みのときは、電話番号や郵便物の受取りなど雑用係まで担当された。

農業祭、農業技術に関する展示会や講習会には古い車(30年前のもの)を長時間運転して出席し、農家の人達や技術者とざくばらんに話をされた。

春から夏は、毎日、圃場試験が続き、重労働だった。たまに、「今晚、一杯いかがですか」とお誘いしたが、「6時頃には帰宅しないと家族が心配するので」と丁重に断われた。しかし、オクラホマの田舎に出張した時は、8軒位、「ハシゴ」された。先生は定年後に住む予定で建てた、アパラチア山地の山小屋で週末を過ごされた。金曜日は嬉しくて、朝から落つかれないようだった。

エドナには、他の先生達が使うような「お世辞」を全く言われなかったが、彼女からは大変尊敬されているようであった。ジョージア州出身の先生は南部弁を話す、飾らないサザンジェントルマンであった。