

## 点滴灌漑における有効雨量と用水量

山本太平\*・神近牧男\*\*

### Available Rainfall and Irrigation Requirements for Drip Irrigation

Tahei YAMAMOTO\* and Makio KAMICHIKA\*\*

#### Summary

By using the numerical model based on the standard design guideline for drip irrigation methods in Japan, available rainfall and irrigation requirements were estimated for the districts of Miyako and Tottori in Japan, and for the Mu Us Shamo Desert in China.

Compared with conventional irrigation methods, irrigation with the drip method required 30–40% less water in the Miyako district under the condition that total evapo-transpirations were 86% of those obtained by conventional methods. Irrigation with the drip method also led to a saving of 20–30% in the Tottori district under the condition that total evapo-transpirations were the same as with conventional methods. Available rainfall and irrigation requirements decreased with a shortening of irrigation intervals in the humid areas in Japan.

On the other hand, irrigation using the drip method did not lead to such savings in the Mu Us Shamo desert when total evapo-transpirations were the same as in conventional methods. It were estimated that the reasons for this were that the total amount of rainfall was little and the daily intensity of rainfall was higher relatively.

---

\*砂丘利用研究施設乾燥地農学情報解析室

\*\*砂丘利用研究施設砂丘環境部門

\*Division of Arid Land Agricultural Information Analysis, Sand Dune Research Institute

\*\*Division of Meteorological Environment, Sand Dune Research Institute

### 1. ま え が き

点滴灌漑の土地改良事業計画指針（以後指針と称す）の用水計画<sup>3)</sup>においては、一般（露地）圃場が中心になり、主要な計画諸元値の一つに有効雨量をあげている。わが国の畑地灌漑の原点が降雨の有効利用を重要視し、降雨の少ない時期に補給灌漑する立場をとる限り、点滴法においても有効雨量を正確に評価することが必要になる。現行の用水量算定（従来）法<sup>4)</sup>においては、有効雨量の下限値は5mm/日であり、上限値は総迅速有効水分量（TRAM）から降雨直前における畑地の水分保持量（有効水分量）を差し引いた残量が採用されている。

一方点滴法では、給水と根群分布について独自の考え方<sup>3)</sup>を必要とするので、まず給水と水消費における用水量算定手順を明確にして、次に有効雨量について検討を加えることが必要である。

ここでは、点滴灌漑の有効雨量を算定する数値モデルを用いて、南西諸島、鳥取地区および中国毛鳥素砂漠における日降雨量データと二、三の土壤・作物条件下の有効雨量、用水量に関して検討を試みた。

### 2. 有効雨量の算定モデル

#### 1) 用水量算定の流れ図

点滴法では、露地栽培の場合湿潤域と水分消費域が同一領域でないと考えた。湿潤域は灌水対象領域を示す。水分消費域は作物根が分布している領域で一般に圃場全面を示すが、基本単位としては滴下管間隔の中央から中央までの領域になる。この結果水分消費は、灌水の場合主に湿潤域において生じ、降雨の場合湿潤域と非湿潤域で生じると考えられよう。

指針における用水量算定の流れにおいて、粗用水量と粗灌漑水量までの算定過程を図-1のように整理してみた。まず対象作物の好水分作物係数を求める。次に湿潤幅の決定、点滴TRAM（点滴総迅速有効水分量、DTRAM）、水分消費域における日消費水量を求める。ここでDTRAMは、湿潤域における深さ別の平均減少水分量から求められる点滴法のTRAMである。DTRAMは湿潤面積率（ $P = \text{全湿潤域面積} / \text{圃場面積}$ ）を乗じて水分消費域を対象にした仮りのTRAM（全面換算仮想TRAM）に変換する。

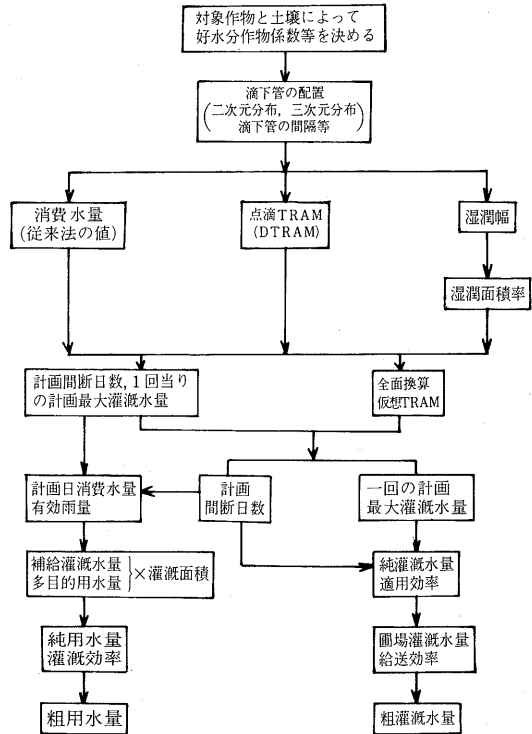


図-1 用水計画における粗用水量と粗灌漑水量算定の流れ図

次に、全面換算仮想TRAMを水分消費域の計画最大日消費水量で除して計画間断日数が得られる。この間断日数によって、水分消費域の消費水量がDTRAM以内になるように調整されることになる。

$$(\text{計画間断日数}) = (\text{全面換算仮想TRAM}) / (\text{水分消費域の計画最大日消費水量})$$

換言すれば、水分消費域を対象にした場合、DTRAM（容積）と水分消費域における消費水量の合計（間断日数×日消費水量）が等しくなる。湿潤域を対象にした場合には、消費水量の合計（容積）だけが湿潤域に対し、計画灌漑水量として供給されることになる。

また、点滴法の計画間断日数は、DTRAM、全面換算仮想TRAM、湿潤面積率、日消費水量等の要因によって左右され、一般に従来法に比べて短くなる<sup>3)</sup>。

$$(\text{計画灌漑水量}) = (\text{時期別の計画日消費水量}) \times (\text{計画間断日数})$$

また上式から、点滴法では1回当りの計画灌漑水量

が従来法より小さくなることが考えられる。これらの結果から、用水計画上、点滴法は少量頻繁の灌漑になりきめ細かな水管理になることが考えられよう。

つぎに、全面換算仮想 TRAM と対象作物の計画日消費水量および計画最大日消費水量とをもとにして、計画中断日数と計画灌漑水量および計画最大灌漑水量が求まる。図-1において、右側の流れは主に灌漑組織（滴下管，給水管路，配水管路等）を設計する場合に必要な計画諸元値である。

一方、水源水量を算定する場合には、主として図中の左側の流れになる。ここで補給灌漑水量とは、灌漑水量から有効雨量を差し引いた計画灌漑水量のことであり、計画日消費水量，中断日数，有効雨量等の計画諸元値を用いて計算できる。多目的利用を行う場合には，補給灌漑水量に多目的用水量等を考慮して純用水量が求まる。純用水量と灌漑効率によって粗用水量が求まり，粗用水量の積み上げ計算で水源水量が決まる。

2) 有効雨量と補給灌漑水量

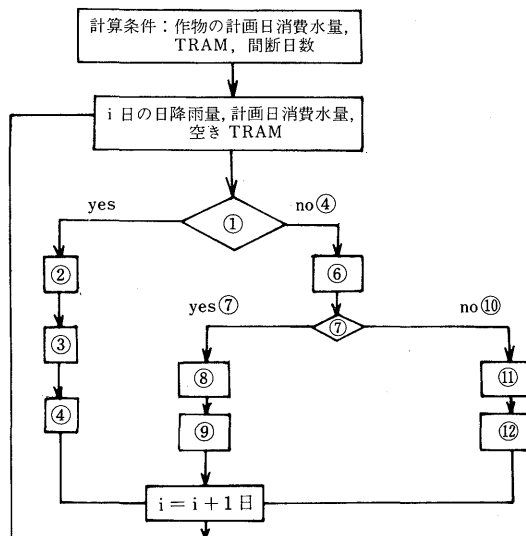
ここでは，DTRAM，計画日消費水量，計画中断日数および日降雨量を用いて，有効雨量と補給灌漑水量について検討した。日有効雨量および日補給灌漑水量と，それらの積算量を計算する流れ図を図-2のように示す<sup>3)</sup>。また，灌水当日における土壌保留量の初期値としては前日の有効水分量 (a) を用いた。さらに従来法の場合有効雨量の下限値は 5 mm であるが，ここでは 0 mm 以上の日降雨の 80% を総て有効雨量の検討対象にした。

3. 計算結果と考察

1) 南西諸島の場合

(1) 試験区と降雨量

奄美調査地区では，徳之島のライシメーター試験区と灌漑試験区を取上げ，1960～1983年の灌漑期間（5～10月）の日降雨量を用いた。沖縄調査地区では琉球大学のライシメーター試験区を取上げ1955～1984年の灌漑期間の日降雨量を用いた。宮古調査地区では灌漑試験区を取上げ琉球大学と同じ期間の日降雨量を用いた<sup>2)</sup>。



- ①  $0.8 \times \text{日降雨量} \geq R_o$   
[ $R_o = DTRAM - \text{有効水分量 (a)}$ ]
- ② 有効雨量 =  $R_o$
- ③ 補給灌漑水量 = 0
- ④ 翌日の有効水分量 = 有効水分量 (a) + 有効雨量 - 計画日消費水量
- ⑤  $0.8 \times \text{日降雨量} < R_o$
- ⑥ 有効雨量 =  $0.8 \times \text{日降雨量}$
- ⑦ 中断日数  $\times$  計画日消費水量  $\geq$  (有効水分量 (a) + 有効雨量)
- ⑧ 補給灌漑水量 = 中断日数  $\times$  計画日消費水量 - (有効水分量 (a) - 計画日消費水量) - 有効雨量
- ⑨ 翌日の有効水分量 = 有効水分量 (a) + 有効雨量 + 補給灌漑水量 - 計画日消費水量
- ⑩ 中断日数  $\times$  計画日消費水量 < (有効水分量 (a) + 有効雨量)
- ⑪ 補給灌漑水量 = 0
- ⑫ 翌日の有効水分量 = 有効水分量 (a) + 有効雨量 - 計画日消費水量

図-2 有効雨量と補給灌漑水量を計算する流れ図

(2) 計画日消費水量

点滴区と散水区における計画日消費水量 (mm/日) は徳之島と琉球大学のライシメーター試験区で実測された値を利用した (表-1 参照)<sup>2)</sup>。

表-1 サトウキビの計画日消費水量(mm/日)

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	計
点滴区	2.9	2.9	5.8	5.2	3.8	3.6	743.5mm
散水区	1.9	2.3	5.7	7.2	5.3	5.2	848.0mm

### (3) TRAMと間断日数

点滴総迅速有効水分量 (DTRAM) には、灌漑点水分量として pF3.0 水分量を設定した従来の TRAM を用いた。DTRAM に湿潤域面積率を掛けた値が全面換算仮想 TRAM になる。この値をピーク時 (7月) の消費水量 5.8mm/日 で割れば間断日数が決まる。サトウキビ圃場の滴下管配置 (隔畦, 寄せ畦, 畦毎配置) に対応して P の値, ひいては間断日数が異なるので, ここでは点滴区の間断日数として 1~3 日または 1~4 日の場合を総て検討した。散水区の間断日数は TRAM を 7月の蒸発散量 7.2mm/日 で割って求めた。両区とも 1回の灌漑水量は, 間断日数×各月の計画日消費水量になる。

図-2 に基づいて, 点滴試験区と散水試験区の TRAM に保留される有効雨量の収支計算を行い, 灌漑期間における補給灌漑水量の積み上げを試みた。点滴試験区の補給灌漑水量は各試験区とも散水試験区の 60~70% に減少している。点滴試験区では間断日数を短くすると 1 回当りの灌漑水量が小さくなり, 空き TRAM が大きくなる。従って, 間断日数が短いほど降雨が有効となり補給灌漑水量が小さくなっている<sup>2)</sup>。

灌漑点水分量を pF3.5 として求めた TRAM の場合においては, 散水試験区, 点滴試験区とも灌漑点水分量 pF3.0 に比べ補給灌漑水量に 20~30mm の減少がみられる。この場合も, 点滴試験区の補給灌漑水量は散水試験区の 60~70% を示す<sup>2)</sup>。これらの結果から, 計画基準年において点滴灌漑の水源水量は散水灌漑に比べて 30~40% 程度切り下げて見積ることが可能と推定される。

## 2) 鳥取地区の場合

### (1) 土壌と降雨量

ここで対象にした土壌は, 砂丘砂, 砂壤土 (マサ土), 腐植質火山灰 (黒ボク), 鉍質火山灰 (赤土),

である。ここでは, 4種類の土壌を砂質土壌と火山灰土壌に 2分類し, 砂質土壌の TRAM が 25mm, 火山灰土壌の TRAM が 40mm の場合について検討を行った。

鳥取大学砂丘利用研究施設の気象観測露場で観測された 1952~1982年の日降雨量を計算に利用した。また本地区の灌漑期間は 5~9月または 5~10月の間であるので, 有効雨量と補給灌漑水量の計算はこれらの期間を対象にした。本地区においては, 計画基準年 (1/10確率年) の 5~10月の降雨量は約 700mm, 連続干天日数 (日降雨量ゼロが連続する日数) は 21日になる。また, 7月, 8月, 5月, 6月, 10月, 9月の順に月別の連続干天日数が小さくなる。連続干天日数が大きい月ほど, 月別日消費水量が増加することが考えられる。

### (2) 計画日消費水量と間断日数

ここでは, 鳥取県の中部地方に分布している北条砂丘地帯のナガイモ<sup>5)</sup> と東伯火山灰地帯の普通畑作物 (ヤサイ, 飼料作物)<sup>1)</sup> を用いた。これらの作物の月別計画日消費水量を表-2 に示す。

従来法の間断日数は TRAM を月別計画最大日消費水量で除して求める。月別の最大計画日消費水量は, 8月においてナガイモが 6.5mm, 普通畑作物が 4.0mm, であるので, 間断日数は, それぞれ, TRAM が 25mm の場合 3日と 6日, TRAM が 40mm の場合 6日と 10日になる。ここでは, TRAM=25mm においてナガイモの場合 1~2日, 普通畑作物の場合 1~5日, また TRAM=40mm においてナガイモの場合 1~5日, 普通畑作物の場合 1~9日を用い, これらを仮に点滴圃場の間断日数とみなした。

### (3) 補給灌漑水量

図-2 に基づいて, 1952~1982年の 5~10月の灌漑期間における有効雨量, 補給灌漑水量の計算を行った。TRAM が小さい土壌ほど空き TRAM が小さくなるので, 有効雨量は少なくなり補給灌漑水量が増

表-2 ナガイモおよび普通畑作物の計画日消費水量 (mm/日)

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	計
北条砂丘の ナガイモ	2.0	3.0	5.5	6.5	5.0	—	674.0mm
東伯地区の 普通畑作物	2.0	3.0	3.0	4.0	3.0	1.0	490.0mm

加する。また、灌漑期間総降雨量が500～900mmの範囲では、総降雨量に伴って補給灌漑水量が減少するが、総降雨量が1,000mm以上増加しても補給灌漑水量はあまり減少しない傾向がみられた。本地区においては、灌漑期間総降雨量に対して作物の総消費水量が比較的少ないので、全体的に補給灌漑水量が小さかった<sup>2)</sup>。特に1980年の間断日数1日の場合には、TRAMが25mmのとき40mmの補給灌漑水量でよく、TRAMが40mmのとき灌漑を必要なくなる。またいずれの年においても、間断日数が短いほど有効雨量が増加し、補給灌漑水量が少なくすむ結果が得られた。

次に、計画基準年降雨量の±100mmの範囲の降雨年(6カ年)を対象年として取り上げ、ナガイモと普通畑作物における総補給灌漑水量と間断日数との関係を整理してみた。ここで最大間断日数の補給灌漑水量に対する最小間断日数の補給灌漑水量の割合ΔQを求めた。灌漑期間が5～9月のナガイモのΔQは、TRAM=25mmの場合93%、TRAM=40mmの場合84%を示す。また普通畑作物のΔQは、TRAM=25mmの場合79%、TRAM=40mmの場合68%を示した。

これらの結果から、計画基準年における点滴法の水源水量は、TRAMが25mmのナガイモの場合を除いて、TRAMが25～40mm、最大間断日数が6～10日の作物圃場の場合、従来法に比べて20～30%程度切り下げて見積ることができよう。

### 3) 毛烏素砂漠の場合

#### (1) 砂漠の概況と日降雨特性

中国の砂漠地帯は、北緯37～47°の間に分布し、総面積128万km<sup>2</sup>、中国陸地総面積の13%を占めている。毛烏素砂漠は、このうち約400万haの面積を有し、中国砂漠地帯の東側の砂漠地に相当する<sup>6)</sup>。年降水量は約340mmで7～9月に集中する。また、年間蒸発量は2,200mm程度もありそのピークが4～6月

に現れることから、この期間は厳しい乾燥条件を示している。ここでは、烏審召気象観測所で観測された気象データのうち、1959～1985年の日降雨量を用いた。本砂漠は、他の乾燥地に比べ灌漑期間(4～9月)に比較的雨が深い。1/2確率年では、年降水量340mmのうち89%が灌漑期間に、また年降水量の62%が7～9月の間に分布している。灌漑期間の降雨量は、1/2確率年に比べて、10～20年に一回の干ばつ年で1/2以下、50年に一回の干ばつ年で1/3以下に減少している。

次に連続干天日数は、1/2確率年において年間48日あり、主に非灌漑期に生ずる。また、灌漑期間の場合は18日、7～9月の場合は6～8日を示す。10～20年に一度の干ばつ年では、灌漑期間で28～33日、7～9月で10～17日の連続干天が発生する。このような干ばつ年においても降雨頻度が高いことが、本砂漠における降雨特性の一つとしてあげられる。

#### (2) 計画日消費水量と間断日数

短期間の生育ステージ毎における各種作物の平均日蒸発散量ET(mm)を求める式として、 $ET = K_p \cdot K_c \cdot E_{pan}$ が提案されている<sup>6)</sup>。ここで、 $E_{pan}$ はクラスAパン蒸発計の日蒸発量(mm)、 $K_p$ は蒸発計係数(設置された蒸発計周辺の相対湿度、気温および植生条件等で左右される)、 $K_c$ は作物係数(生育ステージ、相対湿度および風速等によって左右される)、である。

ここでは、対象作物としてアルファルファを取り上げ、1/2確率年の計器蒸発量を用いて、月別の計画日消費水量(日ET)を算定した。これらの結果を表-3に示す。作物係数はFAOのデータのうち乾燥気候下の強霜地域で0～5m/sの風速条件下の値を用いた。また枠内の合計数字はFAOの概算値を示す。月平均蒸発散量は、わが国の場合と異なり、

表-3 アルファルファの計画日消費水量(mm/日)

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	計
小型蒸発計の月蒸発量		268.2	371.7	372.0	309.5	239.5	172.1	1733.0 mm
アルファ ルファ	作物係数	0.80	0.85	0.90	0.95	0.95	0.85	
	月ET (mm)	128.74	189.57	200.88	176.42	136.52	87.77	919.90mm
	日ET(mm/日)	4.29	6.12	6.70	5.69	4.40	2.93	(600～1500mm)

苗発量の大きい6月がピークを示した。

(3) 有効雨量率と灌水率

図-2に基づいて、1/2確率年と1/10確率年を対象にしてアルファルファの灌漑期間における有効雨量と補給灌漑水量を求めた。ここでは対象年数12カ年の平均値を示す。1/2確率年において補給灌漑水量は、間断日数1日が663.1mm、2日が666.0mm、3日が670.0mm、4日が676.7mm、5日が681.0mmを示し、ΔQは97%であった。1/10確率年においては、補給灌漑水量は間断日数が1~5日の間で756.4~758.0mmを示し、間断日数に伴う補給灌漑水量の変化が殆どなかった。

これは、本地区の降雨量とその絶対量が少ないのに日降雨強度は大きい特性を有するので、根群域に

保留される有効雨量が間断日数に左右されないためと考えられた。また1/10確率年の場合には、各間断日数において補給灌漑水量がいずれも大きくなっている。これは、間断日数の要因より小降雨量の要因が大きく影響することが考えられた。

次に、宮古地区、鳥取地区、毛烏素砂漠において、有効雨量と補給灌漑水量を用いて、次式に示す灌水率と有効雨量率の検討を行った。

$$\text{(灌水率)} = \frac{\text{(補給灌漑水量)}}{\text{(灌漑期間総蒸発散量)}}$$

$$\text{(有効雨量率)} = \frac{\text{(有効雨量)}}{\text{(灌漑期間総降雨量)}}$$

これらの結果を表-4、表-5、表-6に示す(表中の数字は有効雨量率)。宮古地区においては、有効

表-4 宮古地区における灌水率と有効雨量率 (TRAM=23.4mm) (単位%)

確率年 (雨量)	作物 (総蒸発散量)	間断日数			
		1日	2日	3日	散水区(3日)
1/10年 (698mm)	サトウキビ (743.5mm)	48.9 (48.8)	50.7 (47.1)	57.1 (40.9)	70.2 (28.5)

( ): 有効雨量率

表-5 鳥取地区における灌水率と有効雨量率 (TRAM=40.0mm) (単位%)

確率年 (雨量)	作物 (総蒸発散量)	間断日数				
		1日	2日	4日	6日	
1/10年 (580.5mm)	ナガイモ (674.0mm)	38.4 (66.8)	39.7 (65.5)	43.0 (61.8)	45.9 (58.7)	
1/10年 (580.5mm)	普通畑作物 (490.0mm)	15.9 (78.9)	17.2 (77.8)	18.9 (76.1)	20.6 (74.5)	23.2 (72.0)

( ): 有効雨量率

表-6 毛烏素砂漠における灌水率と有効雨量率 (TRAM=35mm) (単位%)

確率年 (雨量)	作物 (総蒸発散量)	間断日数				
		1日	2日	3日	4日	5日
1/2年 (302.6mm)	アルファルファ (919.9mm)	72.1 (81.3)	72.4 (80.4)	72.8 (79.1)	73.6 (77.0)	74.0 (75.6)
1/10年 (169.5mm)	アルファルファ (919.9mm)	82.2 (97.5)	82.1 (98.4)	82.2 (97.9)	82.2 (97.8)	82.4 (96.5)

( ): 有効雨量率

雨量率が点滴区で50%程度、従来区で30%程度を示す。鳥取地区の場合には、ナガイモが59~67%、普通畑作物が72~79%を示し、宮古地区より降雨の利用率が大きい。一方毛烏素砂漠においては、1/2確率年の場合有効雨量率が76~81%と大きい。同時に灌水率も72~74%と大きな値になる。1/10確率年の場合には、降雨は殆ど利用されるが、その絶対量が少ないので灌水率も82%とさらに大きかった。

#### 4. あとがき

ここでは、指針に基づいた有効雨量算定の数値モデルを利用し、南西諸島、鳥取地区および毛烏素砂漠を対象にして、点滴法の有効雨量と用水量等について二、三の検討を行った。

わが国のような湿润地域では、間断日数が小さくなる程、有効雨量の増加が認められた。従来法より点滴法の計画日消費水量が12%程度小さい宮古地区の場合、点滴法では従来法に比べて、30~40%程度水源水量を節減できる可能性が得られた。点滴法と従来法が同じ計画日消費水量の鳥取地区の場合、点滴法では従来法に比べて20~30%程度節減できた。毛烏素砂漠の場合には、計画日消費水量が同じ場合点滴法と従来法の相違があまりみられなかった。この理由として降雨量の絶対量が少ないこと、日降雨

強度が高いこと、等が考えられた。しかし点滴法の消費水量が従来法に比べて小さくなれば、点滴法の節水効率は向上することが推定される。

最後に、本研究の一部は文部省科学研究費補助金{総合研究A、乾燥地域の農業水利に関する基礎的研究、代表者：黒田正治(九州大学)}によって行われた。ここに厚く感謝の意を表します。

#### 引用文献

- 1) 中四国農政局東伯農業水利事業所：東伯農業水利事業計画概要、(1986)
- 2) 計画基準改定委員会点滴かんがい部会：土地改良事業計画指針、点滴かんがい(第一次案)、pp. 19-52 (1985)
- 3) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画指針、点滴かんがい、pp. 11-23 (1987)
- 4) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準、計画、畑地かんがい、pp. 28-44 (1982)
- 5) 鳥取県耕地課：北条砂丘地区畑地灌漑施設自動化計画設計業務報告書、(1980)
- 6) 山本太平・神近牧男：中国毛烏素砂漠における砂漠化の概況と農業開発—とくに気象・土壌特性と地下水の塩類化について—、農土誌55 (10)、pp. 43-48 (1987)