

## 第 6 章 河川流況と水管理を考慮した不完全灌漑計画

ーインドネシア国ワイスカンボン灌漑地区を事例としてー

熱帯地方では気温に関する制約がないので、水の供給さえ可能であれば基本的に一年中いつでも稲栽培が可能である。しかし、そのほとんどの地域では一年 1 回の雨季と乾季に分かれているので河川流量は期別変化が大きく、乾季の流量は著しく低下する。また、河川流量は期別だけではなく、Fig. 6-1 に示すように年毎にも大きく変動する。したがって、ある一定の確率の下で完全計画の考えを採用すると乾季の低流量がネックとなるため、年間作付率は一般に低い数値に止まざるを得ない。しかし、どのような基準で灌漑計画を策定しても、実際にどのような水不足が生じるかは河川流況の様相に依存する。また、水不足の内容は、水管理の上の対応で対処可能なものや、決定的な被害が避けられないものなど、様々である。

そこで本研究ではインドネシア国ワイスカンボン灌漑地区を事例として、確率河川流量を基とする完全計画を採用した場合と、その制約を一部緩めた不完全計画の場合の水管理や収穫への影響を検討する。

一定の確率基準年における水源水量に対して水不足を許容することは、基本的に確率基準年の切り下げと同様の効果をもつ。しかし、本論では、水不足を連続的な量として捉え、流量の時系列としての性質を評価する。

### 6.1 ワイスカンボン灌漑地区の概要

第 3 章で述べたように、ワイスカンボン灌漑地区はインドネシア

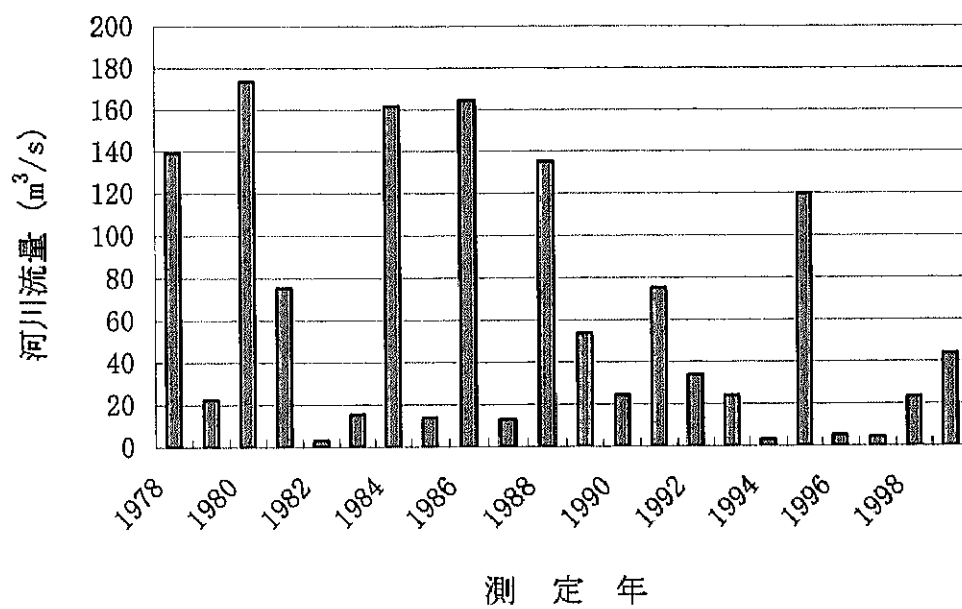


Fig. 6-1 ワイスカンポン川の 11 月下半月の  
平均流量  
(1978～99 年の平均値)

国スマトラ島東端部，ランボン州中央ランボン郡に位置する，東西約 35km，南北約 37km の区域である。地区概要は，Fig. 5-1 に示した通りである。

第 5 章で詳細に述べたように，本地区はワイスカンボン川を水源とした灌漑地区で，11 のスキームに分かれている（その内の 2 つが反復利用スキーム）。1 年は雨季と乾季に分かれており，曆上，雨季は 10 月から 3 月とされている。雨季灌漑期は 10 月から，乾季灌漑期は 2 月中旬から始まる。なお，水稻が本灌漑地区の対象作物である。

Fig. 6-2 に本灌漑地区の半月毎の降雨量とワイスカンボン川流量を示す。この図から明らかなように，降雨量は 9 月から徐々に増加していくが，河川流量は少し遅れ 12 月から本格的に増加を始める。降雨量，河川流量とも 1 月から 3 月までがピークとなる。

なお，本地区における水管理体制は，Fig. 5-2 に示した通りである。

## 6.2 現行の灌漑計画と水管理

### 6.2.1 灌漑計画策定手法と水管理

第 5 章で述べたようにインドネシア国の場合、灌漑計画の策定、水配分の実施共に、半月を単位期間として行っている。

#### 6.2.1.1 年間灌漑計画策定手法

年間灌漑計画は，下記の手順により策定される (DGWRD, 1988)。

- ① 水利組合からの要望灌漑面積の集計
- ② 需要水量の算定

Table 6-1 にワイスカンボン灌漑地区で用いられている作物栽培

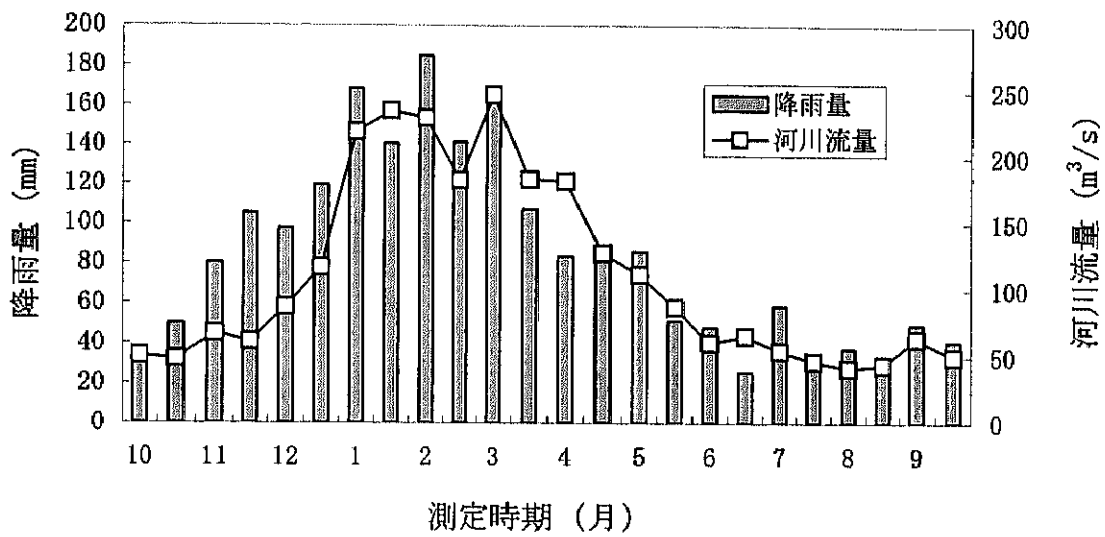


Fig. 6-2 ワイスカンボン灌漑地区の降雨量と河川流量  
(1978年 ~ 99年の平均値)

Table 6-1 単位用水量 (L/s/ha)

栽培 ステージ	雨季水稻作		乾季水稻作	
	純用水量	粗用水量	純用水量	粗用水量
代播き期	1.250	1.725	1.125	1.553
成長期	0.850	1.173	0.850	1.173
黄熟期	0.450	0.621	0.450	0.621

ステージ別の単位用水量の値を示す (Lampung Tengah, 1996)。粗用水量は純用水量に損失水量係数 (圃場内損失係数=1.20、搬送損失係数 1.15) を掛けて算出される。灌漑稲作の 1 サイクルは、代掻き期 1 ヶ月、成長期 2 ヶ月、黄熟期 1 ヶ月の計 4 ヶ月である。各半月毎の需要水量は、要望灌漑面積に粗用水量を掛けて求められる。

### ③ 確率河川流量の算定

インドネシアでは 5 年確率を基とした灌漑計画が策定される。過去の河川流量の値を基本として各半月毎の確率河川流量が算定される。これは「ランキング法」と呼ばれており、たとえば 10 年分のデータを基にした場合は、3 番目に少ない実績流量を 5 年確率流量としている。

### ④ 年間灌漑計画の策定

求められた半月毎の需要水量と確率河川流量を基に年間灌漑計画が策定される。インドネシア国では、代掻き期のピーク用水量低減のために灌漑開始時期をブロック毎に約 1 ヶ月ずつずらしていく手法が用いられている。このような設定条件下、年間灌漑計画は基本的に需要水量が確率河川流量の内数に収まるように、灌水開始時期や乾季の作付率を調整して策定される。

ワイスカンボン灌漑地区における年間灌漑計画の策定も、基本的には上記の手法に従って策定されている。Fig. 6-3 にワイスカンボン灌漑地区の水稻作付パターンを、Fig. 6-4 に年間灌漑計画の事例を示す (共に 1996/97 年の灌漑計画の事例)。Fig. 6-3 から分かるように、一部の乾季作は雨季期間中から始まっており、雨量の少ない時期から始まる雨季作もあることを考えると、雨季作と乾季作の区分は曖昧であるが、ここでは現地の現地の呼称に従っている。

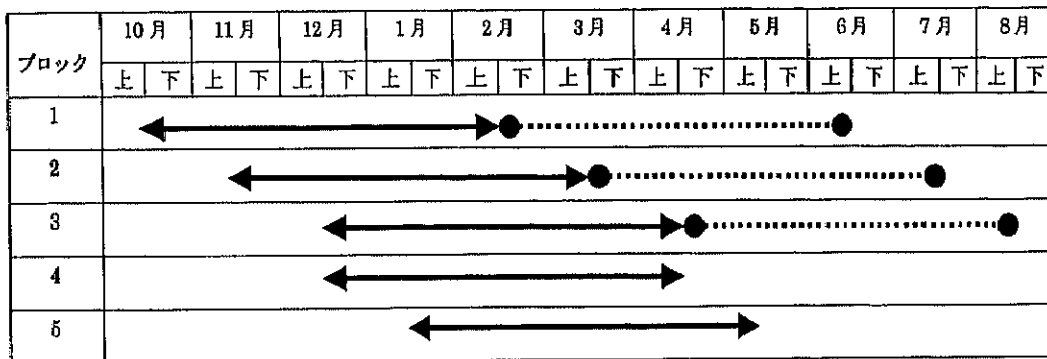


Fig. 6-3 ワイスカンボン灌漑地区の  
 水稻作付パターンの事例  
 (1996/97年)

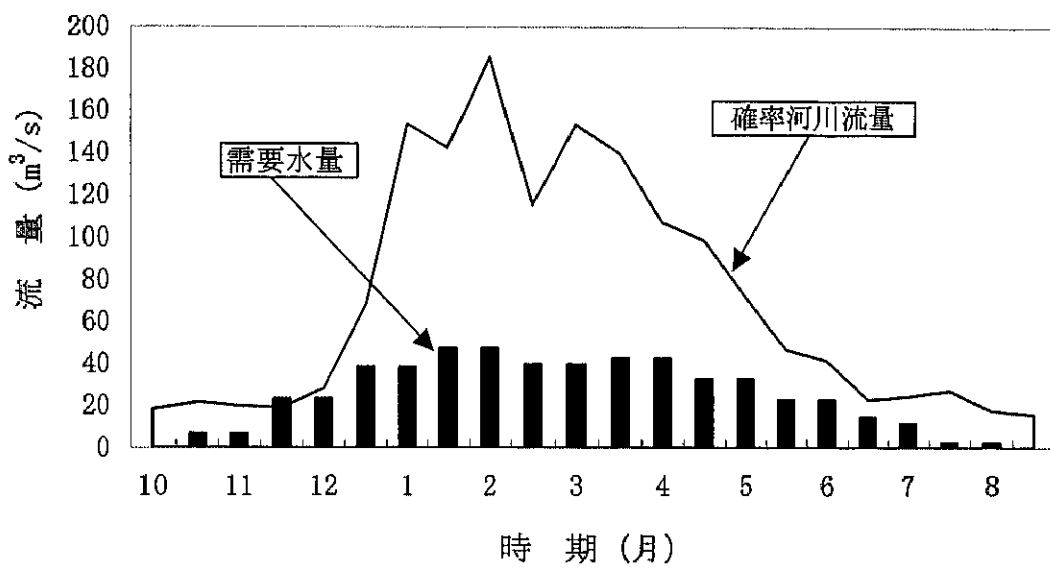


Fig. 6-4 ワイスカンポン灌漑地区の  
年間灌漑計画の事例  
(1996/97年)



本地区の場合、2つの反復利用スキームを除く9つのスキームを4ないし5つのブロックに分割し、ブロック間の灌漑開始時期を1ヵ月ずつずらしている。また、実際上は乾季の作付面積が雨季灌漑面積の半分程度（1978/79～98/99年の平均で48%）となるように灌漑計画が策定される。そして、乾季には隔年のローテーションによって、地区内の公平が図られている。その際、Fig.6-4で11月下半月の需要水量が確率河川流量を若干上回っているように、確率河川流量の制約を若干緩めて、年間灌漑計画が策定されている。なお、9月の1ヵ月間は施設のメンテナンス期間として取水を停止させるため、8月末迄には乾季の水稲作を終了させることとしている。

#### 6.2.1.2 水管理手法

第5章で述べたように、灌漑期間中は供給水の充足率に基づいた水管理が行われる。供給水の充足率とは、需要水量に対する供給水量の比率で、これはK-Factorと呼ばれている。K-Factorの値と水配分方法との関係は、Table 5-1に示す通りである。

ワイスカンポン灌漑地区の場合、中央管理事務所が供給可能水量と全需要水量を基に各半月毎の充足率を算定し、現場事務所へ通知する。現場事務所は通知された充足率と各需要水量を掛けて各2次3水路への供給量を計算し、水管理人とゲートキーパーへ連絡する。その後、現場では、供給水量に応じたゲート調整が行われる。

#### 6.2.2 現行灌漑計画の下における水不足状況

以上のように、確率流量を基に灌漑計画を立てた場合、その範囲では完全計画であったとしても、一定頻度の水不足の発生が避けら

れないのは当然である。そして、実際にどのような水不足状態が出現するかは、河川の流量変動の特性、すなわち河川流況によって異なる。また、水不足は、不足の程度とその継続期間が問題であり、その内容によって水管理への影響は異なる。以下、ワイスカンボン灌漑地区の水需要量を過去の河川流量（1978/79年から1997/98年までの20年間の各半月毎平均流量）に当てはめ、水不足発生頻度・度合いと水管理との関係を分析する。

過去の各年における水需要の推定に当たっては、次のような条件を用いる。

①1997/98年の作付計画（乾季作付率44%）を基礎とする。

②各年における降水量は、頭首工地点の日降雨量記録による。また、有効雨量の推定についてはインドネシア国における一般的な方法に従い、日降雨量5mm未満は無視、5mm以上はその70%を有効雨量とする。ただし、日降雨量80mmを上限とする。

なお、降雨量は、地区内の数ヶ所で観測されているが、信頼のにおける連続記録は、頭首工地点のものに限られているので、一ヶ所だけを用いる。

水不足の程度の指標としては、連続水不足期における不足率の総和である積算不足率（国土庁、1997）を用いる。貯水池容量計画などでは、不足量絶対値の積算値が問題になるが、本地区のように河川の自然流況を対象とし、水需要量自体が時期によって大きく異なる条件下での水管理への影響の程度を検討するためには、積算不足率が指標として適切と考えられる。なお、一連の水不足期間中、余剰が発生した場合は、貯水池における渇水の評価（袁ら、1996）を適用し、その余剰率がそれ以前の不足率を補えるか否かで、不足期間

が連続しているか否かを判断することとした。

以上の方法により求めた現行計画下における水不足の発生状況は、Fig. 6-5 に示す通りである。図中、一期は半月を意味する。

Fig. 6-5 から明らかなように、この需要水量の下では 20 年間で 14 回の水不足が発生し、その内 12 回は、2 期以下の継続期間である。なお、1996/97 年に 3 期、1997/98 年には 5 期連続の水不足が雨季作期間中に発生している。

記録によれば、それらの年に計画に対する収穫面積率がそれぞれ 62% と 86% というように、水不足による深刻な被害は雨季作に生じている。そして、過去 20 年間の内、水不足による収穫被害が生じたのは、その 2 カ年だけであった。

これらの積算不足率と過去の記録から求めた対計画収穫面積率との関係を取りまとめたのが、Fig. 6-6 である。すなわち、積算不足率 1.1 までは、水不足があっても結果的に計画された区域に作付不能あるいは収穫不能は生じていない。この結果は、積算不足率の値が少なくとも 1.1 程度までの水不足は水管理上の調整で凌ぐことが可能であり、それを越えると収穫不能被害の発生が生じる可能性があることを示すと見てよいであろう。

なお、1.1 を越える積算不足率と収穫面積率との間に明確な相関が見出せないが、それは、事例が少ないこと、用いた雨量データが一ヶ所だけのもので、熱帯の大規模地域では一般的な降雨の不均一な点を分析に反映できなかったために生じているものと思われる。ちなみに、有効降雨量を無視した場合の積算不足率を求めると、収穫被害がでない限度が 1.3 であるのに対し、1996/97 年は 5.22、また 1997/98 年は 2.73 であり、96/97 年の方が厳しいという結果と

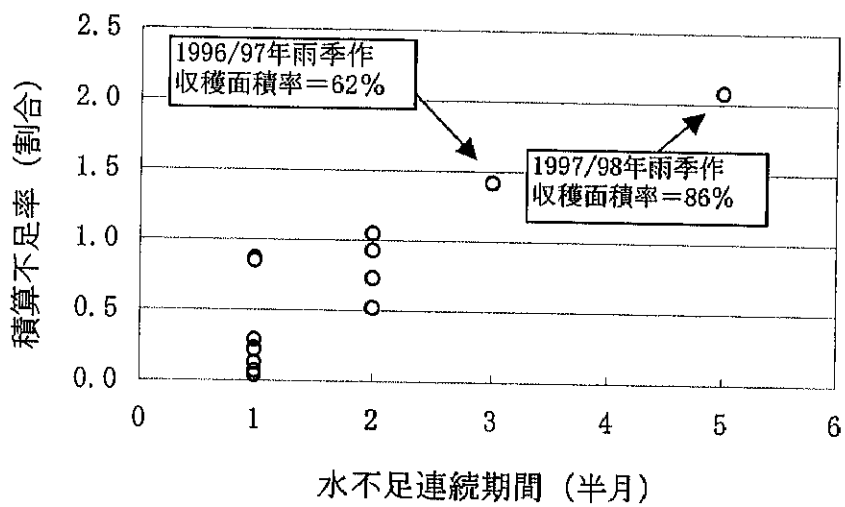


Fig. 6-5 1997/98年の需要水量に対する  
水不足の発生状況  
(1978年～98年)

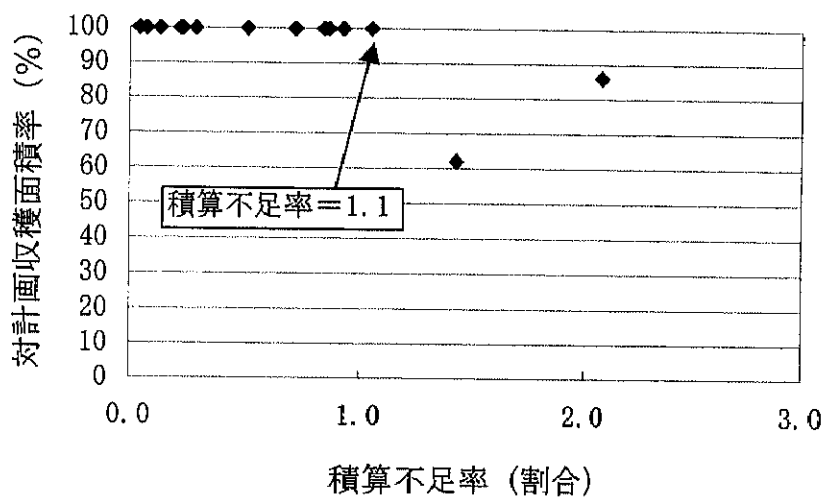


Fig. 6-6 積算不足率と対計画収穫面積率との関係

なった。

### 6.3 年間作付率増大の影響

前項で示したように、ある程度の水不足は直接、計画に対する収穫面積率の低下という被害に結び付かないということが分かった。そこで計画確率流量の制約を緩め、年間作付率を増大させたとき、その増大と水不足に遭遇する頻度との関係を検討し、水管理や収穫への実質的な影響を評価することとする。

#### 6.3.1 条件設定

年間作付率増大の影響の分析は、下記の条件設定の下で行う。

- ①確率河川流量：ワイブル・トーマス・プロット法（農業土木学会，1989）により算定した各期の5年確率低水流量を用いる。
- ②灌漑可能期間：現行計画と同じく、10月から8月までの11ヵ月間とする。
- ③ブロック分け：本地区には灌漑面積が4千ha内外のスキームが7つ（Fig. 5-1 参照）あるので、7ブロックに均等面積で分ける。ただし、現行計画と同様に反復利用スキームは含まない。
- ④補給水：現行計画と同様、2つの反復利用スキームへの補給水（ $3.0\text{m}^3/\text{s}$ ，12月下半月から6月迄）を見込む。
- ⑤作付率：7ブロックすべてが均一な年間作付率となるように計画する。

その他の需要水量に関する基礎数値は現行計画のものを用いる。

#### 6.3.2 確率河川流量の算定

5年確率低水流量の算定結果は、Fig. 6-7に示す通りである。使用したデータは、22年分（1978年から99年）の河川流量である。ただし、12月分のデータは98年までの21年分である。

この図に示されるように、ワイスカンボン川の流量は5年確率流量で見た場合、雨季には約 $100\text{m}^3/\text{s}$ 程度であるが、雨季初期と乾季には $15\text{m}^3/\text{s}$ 以下に低下する。

### 6.3.3 年間作付率増加が収穫被害に及ぼす影響

分析の基本となる灌漑計画を5年確率低水流量の下で、充足率が全期間を通して1.0以上、かつ雨季の初期と乾季の河川流量を最大限利用できる作付パターンを検討すると、

- ①一部のブロックについては、従来と異なり、雨季の作付率を低下させ、乾季の作付率を100%とすることが合理的である、
  - ②各ブロックにおける作期の開始は、現行のように1ヵ月ずつずらすよりも、河川流量の増加に応じて設定するのが得策である、
- ということが分かった。

このようにして求められた基本作付パターンは、Fig. 6-8ようである。この場合の作付率は140%となった。この作付パターン自体は固定し、年間作付率を140%から180%まで10%ずつ増加させ、作付率増加が水不足発生と収穫被害に与える影響について検討する。

Fig. 6-9に、作付率毎の用水需要量と5年確率低水流量との関係を示す（煩雑なことを避けるため、一部を省略してある）。計画確率流量の制約を緩め、年間作付率を増大させた結果、計画時点で充足率が1.0以下の期間は作付率150%で1期（ここで1期は半月、充足率=0.92）、160%で2期（充足率=0.85, 0.94）、170%で3期

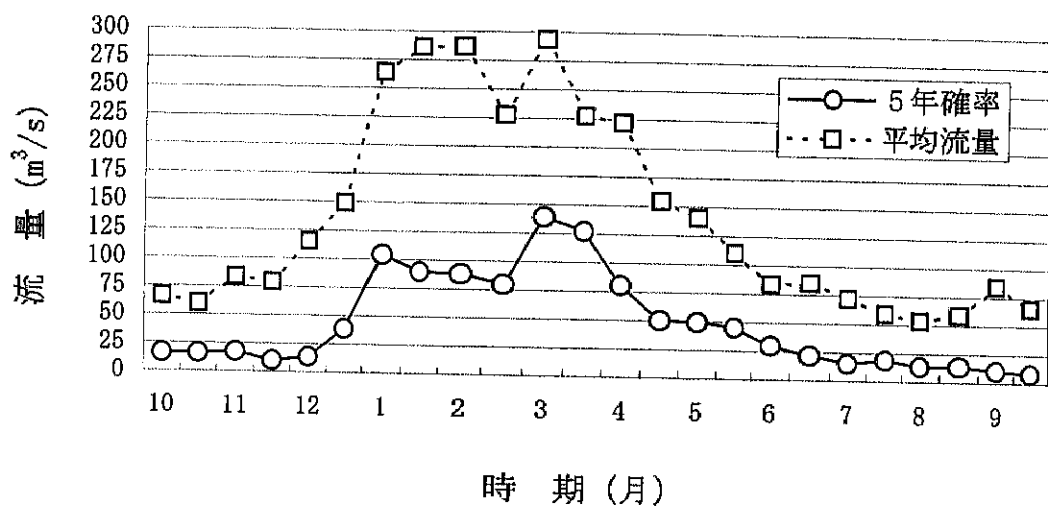
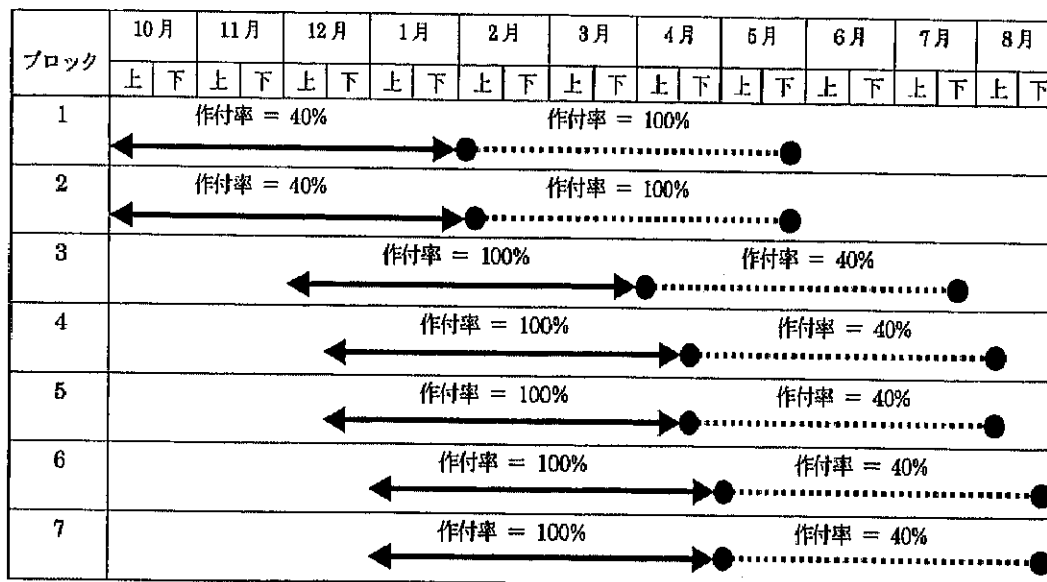


Fig. 6-7 平均河川流量と5年確率低水流量





雨季作



乾季作

Fig. 6-8 分析に用いた水稻作付パターン

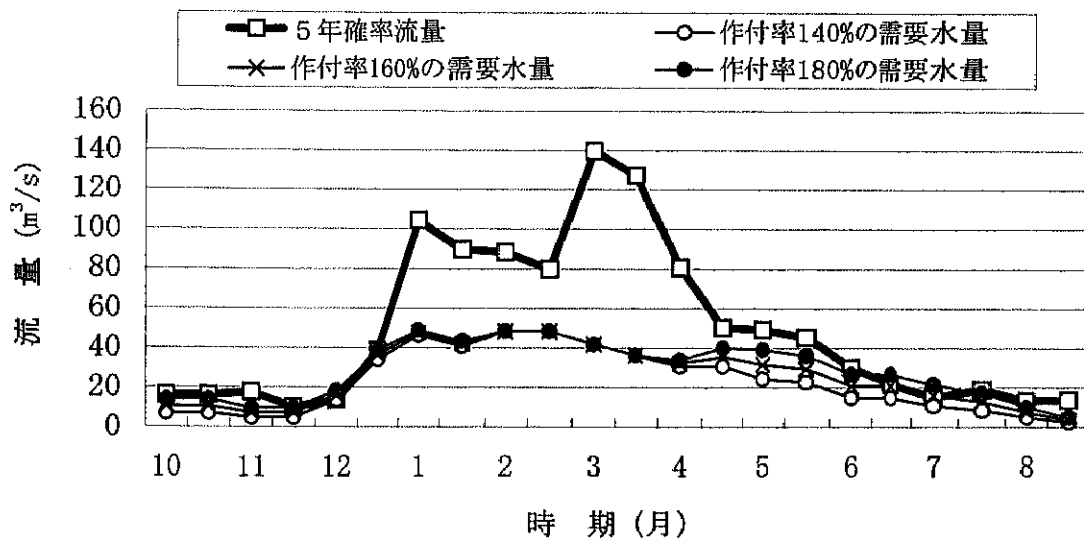


Fig. 6-9 各作付率の需要水量と5年確率低水流量との関係

(充足率 = 0.79, 0.81, 0.92), 180% で 3 期 (充足率 = 0.71, 0.74, 0.82) 生じる。

それぞれの作付率における需要水量を過去の河川流量に当てはめ、水不足連続期と積算不足率との関係を求めた。これを年間作付率 140% と 180% の場合について示すと、それぞれ Fig. 6-10 と Fig. 6-11 のようになる。これから分かるように、一定の確率年を採用している以上、完全計画 (5 年確率, 年間作付率 140%) であっても水不足が生じること (本地区では 20 年に 10 回) が避けられず、その内容も、期間は短いが厳しいもの、ゆるやかではあるが長期間続くものなど様々である。

なお、年間作付率 180% の場合、水不足の発生は 20 回に増加する。

積算不足率が 1.1 以上の場合、作付あるいは収穫への被害が生じると見なされるという前節の評価基準でみると、年間作付率が 140% の場合、被害発生は 20 年間 (40 期作) で 1 回、180% の場合は 4 回へと 3 回増える結果となる。Fig. 6-12 にそれぞれの作付率における水不足発生頻度とそれに占める積算不足率 1.1 以上の頻度を示す。作付率の増加に伴い水不足の発生頻度は高まるが、大半の場合、積算不足率は 1.1 未満であり、水管理調整で凌ぐことが可能である。

なお、水不足期間の回数を 1 期 (半月) を単位として見た場合、連続灌漑が出来ない充足率が 0.7 以下の回数は、作付率を 140% から 180% まで上昇させた時、0.35 回/年から 1.25 回/年に増加する。

以上の結果を、作付率の増大を図るという観点から検討する。

① 作付率の増大は、水資源利用効率の向上、収穫面積の拡大というメリットをもつ。本地区の場合、完全計画における年間作付率 140%

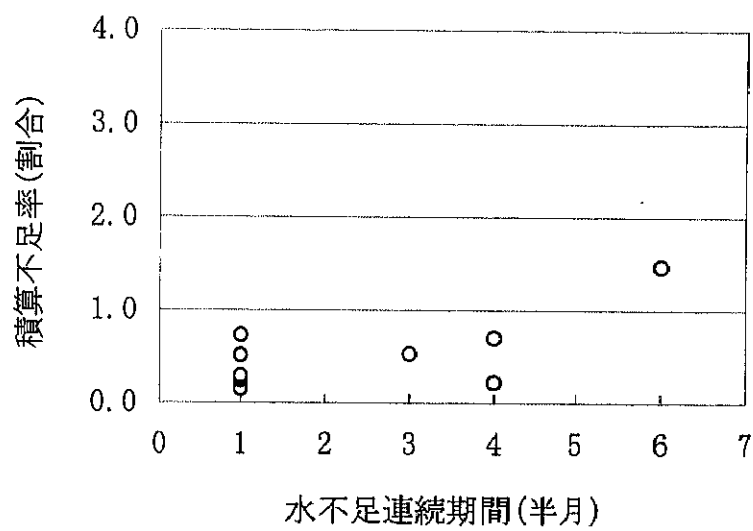


Fig. 6-10 作付率 140% の積算不足率と  
水不足連続期間との関係

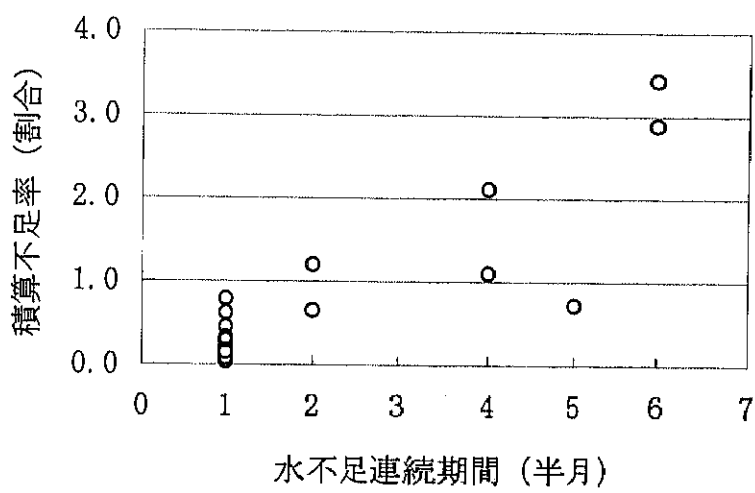


Fig. 6-11 作付率 180% の積算不足率と  
水不足連続期間との関係

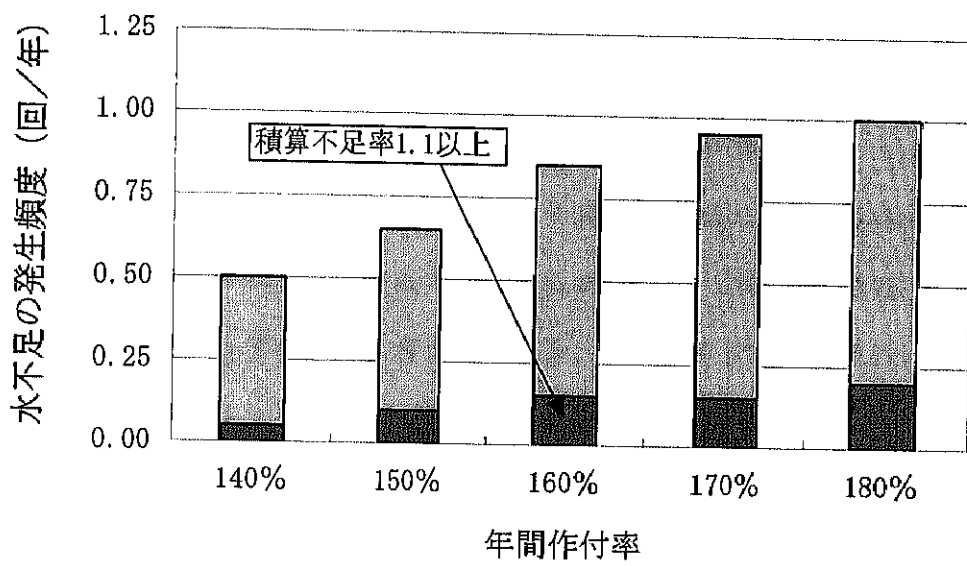


Fig. 6-12 年間作付率と水不足の発生頻度との関係

から 180% への増加は、年間約 14 千 ha に相当する。ただし、計画面積がすべて収穫できないという回数は 3 回増加する。現在の所、その被害の程度は十分に評価できないが、これを差し引いても収穫面積増大の効果は大きい。収穫被害については、むしろ、予定した収穫が一部ではあるが出来ないということの影響をどう評価するかが問題である。

なお、本論では、資料の制約から水不足の単収への影響については考慮していない。

②水不足が生じた時、灌漑地区内では用水の管理について適切な対応がとられることが前提である。一部の地域に水不足の影響が集中するような場合には、混乱が避けられない。本地区では、必要な水管理体制が整っていると考えられる。あまりにも頻繁な水不足は水管理上の負担が大きいですが、本地区では年間作付率 180% の場合でも番水が必要なのは年に 1.5 期以下であり、受容可能と思われる。

#### 6.4 結論

雨季乾季をもち、乾季における低い河川流量が作付率増大の制約となっている熱帯地方において、一定確率流量の下における完全計画の制約をはずした場合の、作付率の増大と、水不足被害や水管理への影響との関係をインドネシア国ワイスカンボン灌漑地区で検討した。

その結果、以下のことが明らかになった。

1) 完全計画から作付率を増大させるに従って連続的に水不足回数は増加するが、その大半は水管理によって対応が可能である。

2) 被害の発生も増加するが、その頻度は低く、作付率増大のメリ

ットは大きい。

3) 水管理労力の増大，干ばつ年における収穫面積の制約はあるものの，水管理体制が整えば河川流況を考慮した作付率の増大は灌漑計画の選択肢として検討に値する。