

農業水利学実習ガイド

(社) 農業土木学会

実験実習書シリーズ No.2

農業水利学実習ガイド

農業土木学会農業水利学実習ガイド編集委員会

(社) 農 業 土 木 学 会

まえがき

農業土木を学ぼうとする若人のために、良きガイドとなる参考書を学会としても用意しよう、という趣旨のもとに、近年、演習書・実験書等が幾つか学会から出版された。もとより学会指定の教科書をつくろうなどということでは毛頭ない。大学の教科書は担当教官にまかされている。あくまで学生のトレーニングのためのガイドブックに過ぎない。

実験書シリーズの第一号としては、「土の理工学性実験ガイド」が出版された。その趣旨は、農業土木が取扱う土の範囲は工学的性質だけあるいは農学的性質だけに限られるものでは決してなく、その全体であるため、既存の土質実験書、土壤物理実験書の枠を越えて、学会として多面的・総合的なものを用意したいということであった。学会が行う出版活動の意義がよくわかるであろう。

この書の成功に助けられて、実験書シリーズ第2号として企画されたのが本書である。当初は単純な発想で土の次には水ということで取上げられたわけであるが、水理実験書は既に各方面から出版され、ある程度定形化されており、農業土木が取扱う水のユニークさはむしろ農業水利についての総合的な実習にあると考究された。そこで実験シリーズをより拡張して、実験実習書シリーズと改訂し、その第2号として出版されることになった次第である。

本書の著述は、第1号にならって原則として項目別としたが、項目の選択法としては中項目主義を採用した。そうしたのは、特に理由があつてのことではなく、300ページ程度の大きさの書物ではその形式がもっとも無難であつたからである。だが小項目に十分に触れることがそれだけむづかしくなったように思われる。農業土木標準用語事典と合せて利用して頂くのがよいであろう。

また、中項目別の説明だけでは、農業水利学の大局がとらえにくくなることも懸念されたので、序章を設けて、農業水利学の大道を概観した。大づかみながら各項目の位置づけがわかるであろう。

1章～7章がこの書の本体であるが、どの項目も、定義、解説、実習法、要点、実際例等の順に従って（別の順表記もあるが）、簡明に説明することを原則とした。

執筆に当っては、農業水利学関係を担当している教官・研究者、その事業に精通している行政担当者・技術者を広く全国的に上げて、それぞれ得意とする項目の分担をお願いした。したがって各項目の内容は実習ガイドとはいえ、質の高いものになったと自負している。

本書の編集準備委員会が発足したのは昭和58年12月であつた。1年以上の検討期間を経て、正式な編集委員会となつたのは昭和60年4月であつた。そして漸くここに上梓されることになった。このように長い期間を要したのはいろいろ難渋することがあつたか

らである。

農業水利学は壮大な体系である。山にたとえるよりも山脈にたとえた方が適切であろう。その体系を項目の選択・配置だけで、適切に表現することは至難の技であった。われわれは自らの非力を痛感し、あえて体系の表示について完璧を期さないことにした。すなわち実習ガイドとして、学問の体系化よりも、それぞれの実習に役立つことに重点を置いたということである。執筆者の都合によって幾つかの項目が取捨選択されることも避けられなかった。

読者は、時として、ある分野の説明の欠落を気付くことがあるであろう。その場合には学会にご連絡いただきたい。適当な機会に補充改訂を行いたいと考えている。

厄介な執筆基準を了解され、何度書き直しもいとわれなかった執筆陣の先生方、三年有余に及ぶ編集・出版の地味な作業を共に担って下さった編集委員および学会事務局の方々に対し、心から感謝と御礼を申し上げたい。関係された皆様と共に、本書を通じて農業水利実習のレベルが質的向上することを祈りたいと思う。

昭和 62 年 3 月

農業土木学会

農業水利学実験ガイド編集委員会

委員長	志 村 博 康	(東京大学農学部)
委 員	鬼 塚 宏太郎	(東京農工大農学部)
"	久 保 七 郎	(農業環境技術研究所)
"	佐 藤 政 良	(筑波大学農林工学系)
"	鈴 木 光 剛	(")
"	長 智 男	(九州大学農学部)
"	中 村 良 太	(東京大学農学部)
"	中曾根 英 雄	(前橋工業短期大学)
"	丸 山 利 輔	(京都大学農学部)
"	山 本 光 男	(明治大学農学部)

目 次

序章 総 説	1	2.10 水田パイプライン	78
1. 水資源とその利用	2	2.11 ファームポンド・調整池	80
2. 灌漑とそのシステム	6	2.12 用水調節施設	82
3. 排水とそのシステム	10	2.13 畑地灌漑施設の多目的利用	84
4. 農業水利開発	14	2.14 肥培灌漑	86
5. 農村地域の水質保全	17	2.15 ハウス灌漑	88
6. 水管理システム	19	2.16 地域用水	89
7. 農業水利事業および制度	21	2.17 広域水収支	91
第1章 水資源	25	第3章 排 水	95
1.1 長期流出モデル	26	3.1 計画雨量	96
1.2 開発水量と必要貯水容量	30	3.2 流出モデル(短期)	100
1.3 貯水池	34	3.3 開渠排水	107
1.4 貯水池の堆砂	38	3.4 暗渠排水	110
1.5 河口湖	40	3.5 田面排水	114
1.6 水源地域整備	44	3.6 畑地排水	116
1.7 地下水利用	45	3.7 洪水排水	120
1.8 発電水力	47	3.8 常時排水	124
1.9 水の循環利用	48	3.9 広域排水	127
1.10 海水の淡水化	49	3.10 特殊排水	129
1.11 水利組織	50	3.11 河口排水	131
1.12 水利調整	52	3.12 排水施設	134
1.13 都市化と農業水利	54	第4章 水質保全・集落排水	139
第2章 灌 漑	57	4.1 水質基準	140
2.1 水田灌漑	58	4.2 水質特性(河川・水路)	142
2.2 畑地灌漑	60	4.3 " (湖沼)	146
2.3 水田用水量	62	4.4 " (地下水)	149
2.4 畑地用水量	65	4.5 集落排水	151
2.5 灌漑水温	68	4.6 水質調査	155
2.6 圃場整備と用水量	70	4.7 水質分析	159
2.7 用水配分システム(水田)	72	4.8 水質データ処理	163
2.8 用水配分システム(畑)	74	4.9 水質管理	167
2.9 田畑輪換	76		

第5章 水管理	171
5.1 年間水管理スケジュール	172
5.2 管理施設	175
5.3 遠方操作システム	177
5.4 ダムの操作(利水)	178
5.5 " (洪水)	180
5.6 開水路系の操作	182
5.7 管水路系の操作	186
5.8 排水の操作	190
5.9 管理操作の オペレーションリサーチ	194
5.10 水管理組織	198

第6章 水利実験	201
6.1 模型実験法	202
6.2 計 測	206
6.3 流量観測・測定	208
6.4 ダムの洪水吐	210
6.5 頭首工(取水工)	213
6.6 魚 道	215
6.7 河床変動	216
6.8 開水路実験	217
6.9 管水路実験	221
6.10 ポンプ	223
6.11 海岸水理	225
6.12 減勢工	227
6.13 沈砂池	229
6.14 分水工	231
6.15 合流工	233
6.16 バルブ	235
6.17 ゲート	236

6.18 スプリンクラー	237
6.19 点滴灌漑装置	238
6.20 ウォーターハンマ	239
6.21 サージング	240
6.22 拡 散	241
6.23 ライシメータ	243

第7章 基礎および共通	245
7.1 降 雨	246
7.2 水文統計	248
7.3 蒸発散	250
7.4 融 雪	252
7.5 流 出	254
7.6 土石流・土砂流	256
7.7 地下水流	258
7.8 浸透流	262
7.9 開水路(定 ^流 流 ^状)	264
7.10 " (不定 ^流 流 ^状)	268
7.11 管水路の流れ	270
7.12 L.P・D.P	274
7.13 グラフ理論	278
7.14 マルコフ過程	282
7.15 線形制御	284
7.16 数値計算法	288
7.17 リモートセンシング	292
7.18 データ処理	294
7.19 相似律	295
7.20 密度流	297
7.21 水路および河川測量	299

索 引	300
-----	-----

序 章 総 説

主査 志村 博康 丸山 利輔

執 筆 者

緒形 博之 (東京農業大学農学部)	谷山 重孝 (農林水産省構造改善局設計課)
佐藤 俊郎 (”)	長 智男 (九州大学農学部)
白石 英彦 (農林水産省農林水産技術会議)	西口 猛 (京都大学農学部)
志村 博康 (東京大学農学部)	

1. 水資源とその利用 (water resources and utilization)

1. 水資源 人間活動にとって水は不可欠なものであるが、その水を提供してくれる自然の水を水資源と呼ぶ。もっとも、自然にある水のすべてが水資源とは限らない。海水や鉱水のように他の化学成分を多量に含み、そのままでは特殊な用途以外に使用困難なものについては水資源に入れない。通常の処理の範囲内で人間活動に用いる水になり得る自然の水に限られる。その主な存在形態は河川、湖沼、地下水等であって、自然にある淡水と考えてよい。これらは、陸地に降る雨によってもたらされるので、陸地に降る雨を水資源と呼んでもよい。

特殊な場合を除き、四季は一年を単位にして繰返えされるので、年降水量を取上げて水資源の指標にすることが多い。年降水量は年によって変動するけれども、統計的に見て繰返されるから、地下資源のように開発によって枯渇するものではない。しかし、年降水量は有限な値であるから水資源も限りあるものである。

陸地に降った雨の一部は、蒸発散や地下深部浸透等によって失われる。したがって、これらの年間損失量を年降水量から差引いたものを水資源の指標に用いることも多い。日本ではこれを水資源賦存量と呼ぶ。年間の流出総量にはほぼ相当する。もっとも、水資源賦存量だけが利用可能な水資源と考えることは適切ではない。水利用の一環である農地や森林からの蒸発散量も損失に含められている場合があるからである。

水資源賦存量がすべて利用可能な水量となるのではない。たとえば、海岸地帯のそれはほとんど海に流出するから、實際上無効である。利用可能な水量となり得るものは、現在の水利技術では、取水可能なものおよび貯水可能なものに限られる。

日本の水資源についての代表的指標を上げれば表-1のとおりである。日本の水利計画では10年に1回程度生ずる渇水を基準にするのが一般的なので、水資源賦存量としては、3,340億 m^3 /年が基準の数値となる。このうちダム等で貯水可能な量は6割程度と見積られており、約2,000億 m^3 /年が利用可能な水量の目安とされている。

世界の水資源についての代表的指標を上げれば表-2のとおりである。世界各国の水資源状況を簡単に一望すると、表-3のとおりである。水資源状況を比較するのには1人当りの年降水総量、1人当りの水資源賦存量を指標にするのが便利である。1人当りでみて、水資源の豊かな国は年降水量のきわめて多い国のほかは人口密度の低い国である。豊かでない国は年降水量のきわめて少ない国のほかは人口密度の高い国である。水の豊かさには人口密度が無視できないことがわかる。日本は年降水量が比較的多いほうであるが、人口密度が高いために1人当りの水資源としては少ない国のほうに属する。

将来の傾向は表-4のとおりである。

人口増加の激しい現在の傾向がそのまま続くとすれば、2030年ごろには世界全体が平均して日本の現在と同程度の水資源状況となり、その後は日本より厳しくなると考えられる。今後、世界的に日本の水利用が注目されてくと推察される。

日本の水資源の将来傾向は、2010年ごろに人口がピークに達し、以後漸減しつつ安定化すると予測されている

(昭和56年厚生省人口問題研究所中位推計)ので、表-5のように、1人当り水資源賦存量が最小のときでも3,450 m^3 /年・人くらいで落ち着くと考えられる。ここが世界と日本の大きな違いである。

2. 水利用 水の利用はきわめて多岐にわたる。周知の農業用水、上水道、工業用水道のほか、発電、舟運、防火、消雪、流雪、内水面漁業、汚水希釈、レクリエーション、景観等。

このうち、舟運およびそれ以下に記したものは、河川や用水を利用して行われることが多い(他用途の水の運

表-1 日本の水資源指標

	単 位	平水年	渇水年
年降水量	mm/年	1,788	1,480
年降水総量	億 m^3 /年	6,750	5,590
損失量 { 山地 { 年地	mm/年 "	400~700 560~980	
水資源賦存高	"	1,191	884
" 賦存量	億 m^3 /年	4,490	3,340

注: 1) 国土庁水資源賦存量調査(昭和51年)より。
2) 算定対象年は昭和31~48年の18年間。
3) 平水年の値は通年平均。
4) 渇水年の値は渇水第2位。
5) 損失量では平水年、渇水年の区別つけず、地域により異なる値とする。
6) 日本の陸地面積は377 $\times 10^3\text{km}^2$ 。

表-2 世界の水資源指標

年降水量	970mm/年
年降水総量	130兆 m^3 /年
損失量	690mm/年
年流出高	280mm/年
年流出量	38兆 m^3 /年

注1) 辺見・立花監訳: アメリカ政府特別調査報告「西暦2000年の地球」家の光協会(1980)。
2) 数値はすべて平均年の値。
3) 南極を除く世界陸地面積は134 $\times 10^6\text{km}^2$ 。

表-3 世界の水資源状況

	(1) 年降水量 (mm/年)	(2) 1人当り 年降水量 (10 ³ m ³ /年・人)	(3) 1人当り 水資源賦存量 (10 ³ m ³ /年・人)	(4) 人口密度 (人/km ²)
カナダ	522	228.1	128.0	2
アメリカ合衆国	760	33.3	8.4	23
イギリス	1,064	4.6	2.7	232
フランス	750	7.8	4.6	96
西ドイツ	803	3.2	1.4	249
イタリア	1,000	5.4	3.0	185
スペイン	600	8.4	3.9	72
スウェーデン	700	38.4	24.1	18
オーストリア	1,191	13.3	7.7	90
スイス	1,470	9.4	7.3	156
ソ連	502	44.1	17.8	11
ルーマニア	700	7.9	1.8	89
ユーゴ	975	11.7	6.0	83
中 国	660	7.7	3.8	86
フィリピン	2,360	16.9	10.1	140
タ イ	1,420	17.7	4.8	80
インドネシア	2,620	39.1	13.0	67
インド	1,170	6.6	2.9	178
イラン	250	12.5	6.0	20
サウジアラビア	100	24.1	0.7	4
エジプト	65	1.7	0.1	37
オーストラリア	460	265.0	} 678.0	2
ニュージーランド	2,010	174.4		12
日 本	1,788	6.0	3.8	297
世 界	973	34.0	9.2	29

注：(1)、(2)、(4)は国土庁水資源局監修：水資源便覧より、人口は1975年値。
 (3)は辺見・立花監訳：アメリカ政府特別調査報告「西暦2000年の地球」
 家の光協会発行（1980）より、この水資源賦存量は総流出量値、人口は1971年値。
 (1)、(2)、(3)の水量は平均年値。

表-4 世界1人当り水資源賦存量の将来傾向

年	人口 (億人)	1人当り 水資源賦存量 (m ³ /年・人)	同 左 日本の相当期
1975	41.0	9,200	明治末期相当
2000	63.5	5,900	終戦直後相当
2030	100.0	3,800	昭和50年代日本相当
21世紀末	300.0	1,300	—

注 1)人口は前記「西暦2000年の地球」より。
 2030年ごろおよび21世紀末の人口は現行の人口増加が続くとすればこの値になるという数値。
 2)世界および日本の水資源賦存量は平均年値を用い、それぞれ一定と仮定。

表-5 日本の1人当り水資源賦存量の将来傾向

年(内は西歴)	人口 (億人)	1人当り 水資源賦存量 (m ³ /年・人)
昭和 50(1975)	1.20	4,009
60(1985)	1.20 以下半調値	3,742
75(2000)	1.28	3,508
85(2010)	1.30	3,454
100(2025)	1.27	3,535
150(2075)	1.18	3,805

注 1)人口は昭和56年厚生省人口問題研究所中位推計
 2)水資源賦存量は平年値を用い、不変とする。

用)。しかし、地域によってはこのうちのあるものをとくに重視して、そのための独自の流量を確保する場合もある。河川維持用水、水路維持用水と呼ばれるものの中にはこれらが含まれていることがある（水路維持用水は一般に用水の中に含まれている）。

発電は、他用途の水の運用に止まらず、独自の流量を確保することがあるが、山間部においてエネルギーのみをとり出すものなので、平野部への流出量を減ずるものではない（流量調整を行うので流量変動を伴うが）。

水利用を量的に表現する手段として、年間水需要（あるいは水使用量）を用水別に表示することがよく行われる。その場合に、上げられる用水としては、農業用水、上水道、工業用水道のみである。他の水利用は、現在のところ、独自の水需要としてカウントしないのが一般的である。しかし、先述の維持用水の中に、上の三用水以外の需要が含まれることがあることは注意を要する。日本の現行水需要を示せば、表-6のとおり（河川維持用水の中に含まれている水需要については不明）である。

水需要の数値を先ごろの水資源指標と比較することにより、現行日本の水資源利用状況をある程度理解することができる。しかし、表-6の水需要は取水量の全国集計であり（ただし、農業用水については取水量データが完全には揃わないで、推計である）、これを機械的に水資源指標と照合させることは厳密には適当でない。上流側で取水された水は、蒸発散や地下深部浸透による損失分を除いて、河川下流側のどこかに還元し、再度取水される。このような還元水の再利用も考慮に入れるべきであろう。だが、この実態は現在のところ個々の河川でもよく解明されておらず、全国集計に取入れられる段階ではない。

日本の水需要の将来予測としては、国土庁の試算（表-7）がある。人口が最大に達するころの昭和85年において高位推計値は約1,400億m³/年である。ダムによる利用可能水量にはなお余裕がある。参考までに世界の水需要の現況および将来予測（表-8）を上げておこう。ここでは2000年の予測に止まるが、この段階では、まだ余裕があるといえる（2030年ごろ以降は厳しくなると予想されるが）。

水需要に応えるための水供給は河川（湖沼、貯水池を含めて）、地下水、その他（湧水、溜池等）を水源として

表-6 日本の水需要 (単位: 億 m^3 /年)

用水	年	昭和40	50	51	52	53	54	55	56	57
都市用水		189	306	309	308	306	307	302	302	301
生活用水		63	123	131	134	137	139	137	141	143
工業用水		126	183	178	174	169	168	165	161	158
農業用水		—	570	570	570	570	570	580	580	580
合 計		—	876	879	878	876	877	882	882	881

注 1) 国土庁長官官房水資源部「日本の水資源」(昭和60年)より。
2) 農業用水の51～54年値は50年値を採用、55年値は国土庁推計56～57年値を採用。

表-7 日本の水需要の将来予測 (単位: 億 m^3 /年)

	国土庁 長期水需給計画 (昭和53年)		国土庁 21世紀の水需要 (昭57年)			
	60	65	75		85	
			低位	高位	低位	高位
生活用水	188	215	208	238	237	268
工業用水	259	293	229	312	280	422
農業用水	620	638	638	705	642	723
	655	700				
計	1,068	1,145	1,075	1,255	1,159	1,413
	1,103	1,207				

表-8 世界の水需要の現況と将来予測 (単位: 兆 m^3 /年)

	Doxiadis (ドクシアディス) (1967年)		FAO (ファオ) (1971年)		アメリカ 地質調査所	Kalinin (カリニン) (1969年)	
	1975年 予測	2000年 取水量	1967年 推計	2000年 使用水量		1977年	2000年 消費量
灌漑・農村生活用水	2.05	4.70	1.48	2.94	1.83	4.80	農業用水
都市用水	0.18	0.85	0.07	0.28	0.20	0.10	生活用水
工業用水	0.18	0.95	0.44	2.23	0.31	0.17 その他 0.40	工業用水
計	2.41	6.50	1.99	5.45	2.34	5.47	計

(出) 逸見・立花監訳: アメリカ合衆国政府特別調査報告「西暦2000年の地球」の内容を表にまとめたもの。

行われる。日本の水源別水利用は表-9のとおりである。明らかなように現在では河川が圧倒的である。地下水利用もなお16%程度あるが、過剰揚水は地盤沈下のおそれがあり、地下水涵養量以下の揚水は残すとしても、次第に河川に水源を

切替える傾向にある。日本の水利用は、基本的に河川の利用であるといつて差しつかえない。

さて、河川からの取水に当っては、水利権の取得が前提となる。現行河川管理では、基準渇水流量 (最近10カ年の渇水流量を基礎にする場合には渇水第1位, 20カ年の場合には同第2位の渇水流量をいう。渇水流量の定義 (表-10参照) に余裕がある場合 (既得水利権および河川維持用水等の流量を差し引いても残流量がある場合) に新規水利権を余裕量の範囲内で許可することになっている。余裕がないところでは、ダムによって渇水流量を増加させた場合、増加分に対して許可される。

もっとも、近代的河川管理制度 (明治29年の旧河川法) が成立する以前において、農業用水の水利権は慣行的に形成されていたので、これらはほぼそのまま継承された (届出により許可されたものとみなされた)。

現在、日本の主要河川のほとんどはダムをつくることなしには水利権を取得することは困難な状況にある。これからの水利用は基本的にダムによって規定されるといってよい。

3. 水資源の開発 水資源開発の主力は、現代の技術では、ダムである。これ以外に、海水の淡水化、下水処理水の再生利用等があるが、現在では、コストの上でも、エネルギー消費の上でも、もっとも経済的なものはダムである。なお、下水処理水の再生利用は、使用した水の回収利用、循環的水利用等と共に、水資源開発というよりも、水の有効利用、水利用の合理化等に位置づけられる。

ダムは、変動する河川流量を人工的に貯水することにより、人為的に流量を調節し、基準渇水流量を増強して、利用流量を増加させるものである (ほかに洪水調節を行うこともある)。河川自流量の基準渇水流量を超えて増加させ得た流量分を開発流量と呼ぶ。開発流量を生み出すためには、河川自流量の不足分を補うだけの貯水容量が必要となる。ある開発流量に対して必要な貯水容量は、河川流量の記録を基にして求められる。河川流量は統計的性質を有するから、ある開発流量に対して必要と貯水容量は年によって変化する。

表-9 日本の水源別水利用

河川水	649 m^3 /年	(74)
地下水	138 "	(16)
湧水・溜池等	89 "	(10)
計	876 "	(100)

注 1) 国土庁監修「水資源便覧」(昭和56年)より。
2) 数値は昭和50年値 (取水量ベース)。

表-10 指標的河川流量と水利用の目安

	定 義 1年のうちで、 以下の日数がそ の流量を下らな い流量	比流量 (目安) 100 km^2 当り	ダムによる 開発流量 (目安) 100 km^2 当り	必要貯水容量 (目安) 100 km^2 当り
渇水流量	355日	1 m^3 /s	(自流量利用)	(0.4) $\times 10^6 \text{m}^3$
低水流量	275 "	2 "	1 m^3 /s	4.0
平水流量	185 "	3 "	2	16.0

注 1) 渇水流量までの水利用では実際上ダムは不要であるが、不足水量を補うとすれば()内の貯水容量が必要。
2) 定義以外の水利用はすべて目安として示した概算値。

そこで日本の水利計画では10年に1回程度で不足が発生する貯水容量を計画貯水容量とする。ダムはこの計画貯水容量を確保できるように計画される。

日本の降雨量、流出量は、1年のうちで、季節により著しく変動する。しかし、年降水量をとり上げると、年によっての変動は少ない(年による降水量変動の標準偏差は平均年降水量の1～2割程度)。そこで日本のダムは流量の季節調節を目的にしてつくられる。しかし、年降水量の変動が激しい国々では、年流量の経年調節を目的にしてダムをつくる。ここでは年流量全体を貯め得るような巨大な貯水容量のダムが出現する。

開発流量を次第に増大させていくと(すなわち水資源開発を進めていくと)、必要貯水容量は加速度的に増大していく(表-10参照)。これは河川流量の統計的性質に基づくものであり、水資源開発の基本傾向といってよい。この傾向およびダムが建設容易なところから順次つくられる傾向(たとえば地質がよく、水没補償の少ないところからつくられる等)のために、水資源の開発コスト(単位の開発流量を生みだすために必要な費用)は開発流量の増大と共に加速度的に高額となる傾向がある。したがって、水資源開発は開発流量を増大させると次第に困難さを伴うようになる。ダムの貯水容量を維持する上で重大な問題は、流入土砂の堆砂問題である。ダムの計画では、予測される堆砂量の100年分を堆砂容量として、必要貯水容量のほかに確保するけれども、流入土砂量の予測は簡単でなく、山崩れの発生等により、予測を越えて必要貯水容量が失われる場合もある。流入土砂対策は水資源開発上大きな課題である。

ところでダムは一般に見られる山地のダムのほかに、河口や湾を淡水湖にするためのダムや地下水を人為的に貯留するための地下ダムもある。前者は山地ダムと連携して、流域の水の有効利用に効果的であり、後者は地表に変化を与えず、損失も少ないところに利点があるが、両者とも揚水を不可欠とし、また周辺地下水位への影響が懸念され、さらに前者にあっては漁業との調整も加わるので、計画に当っては十分な注意が求められる。

どの種類のダムであれ、水資源開発は広い範囲にわたって影響を及ぼすものであるので、その計画は十分に慎重でなければならない。とくに山地ダムでは、そこに定住する人々に移転を求めることになるし、さらに周辺地域社会に重大な影響をもたらす。そこで近年においては、山村振興、森林保全の方向性も合わせて、水没者の生活再建への手立てと共に、水源地域整備も水資源開発と一緒に行うようになっている。

4. 水利用のシステム もし自然の水供給(水資源の賦存状態)が人間の必要としている水需要と照合しているのであれば、水利システムは不要であろう。だが、自然の水供給は時間的にも空間的にも著しく偏在し、人間の水需要と不整合なのが一般的である。したがって、自然の水供給を人間の水需要に照合させるための変換システムが不可欠である。水利用のシステムとは、そのような変換システムにほかならない。

水利システムは、大別して、施設システムと社会システムからなる。施設システムは、一般に水源システム、導水システム、中間調整システム、水処理システム、配水システム、水使用現場システムおよび排水システムの各行程からなり、それぞれの目的に応じて適当な施設が配備される。社会システムは、それら各行程に対応して、管理・運用の組織をもつと共に、よりどころとなるルール(慣行も含めて)や法制度をもっている。これらによって規定され、運営される水利用の秩序を水利秩序と呼ぶ。

日本の水利用は、すでに河川自流量利用の段階(ほぼ渇水自流量までの水利用段階)を終え、自由な水資源開発段階(水資源開発があまり制約されることなく行いうる段階、ダムによる水資源開発の初期過程)を経て、今や全国的に水資源開発制約段階(水資源開発の後期過程、水資源開発が進んだ結果としてさまざまな制約が及ぶようになる段階、ほぼ低水流量程度まで水利用が進むとこの段階に入ると概観される、表-10参照)に到達しつつある。利根川水系・淀川水系等大都市圏を内にもつ水系はすでにこの段階に入り、水資源開発限界段階(ほぼ平水流量程度まで水利用が進むとこの段階に入るとみてよい、表-10参照)に近づきつつある。

自由な水資源開発段階では、水利開発に余裕があり、個々の利水がそれぞれの意志で水利の発展を図ることができた。しかし、水資源開発制約段階では、流域的規模で水の有効利用、水利用の合理化を図る方向が強まり、個別の水利開発に制約が及ぶようになっていくと、流域的規模での水利調整・循環的水利用が重要視されてくると考えられる。

2. 灌漑とそのシステム (irrigation and its system)

1. 灌漑とは 一般に、灌漑とは、植物生産に必要な水分を供給する目的で、土壤に人工的に水を供給することである¹⁾。また、土壤水分量と農作物の生育に対し常に最適ならしめることを目的とし、水を耕地に導いて組織的にこれを分配し、農作物の水分要求量を満たし、土地の生産力を増進させることである²⁾。すなわち、農作物が正常に生育し、生産物の収量を増大し、品質を向上させるためには、適正な土壤水分を保ち正常な蒸散を行うことが必要である。作物からの蒸散と土壌面からの蒸発の合計である蒸発散によって消費される土壤水分を人為的に供給することであるともいえる。湿潤地域などにおいては、作物に必要な水分は自然の降雨によっても供給されるので、降雨だけでは不足する水量を灌漑によって補給することになる。したがって、灌漑を自然降雨に対する補給であると定義している場合もある³⁾。

灌漑の「灌」は水を人為でそそぐこと、「漑」はその水を点から面へ人為的に広げることを意味しており⁴⁾、灌漑システムを通して、水源より水を取入れ、これを送水・配水し、圃場まで届け、圃場において農作物の生育に対し適正に水を供給することであるといえよう。

耕地における降雨、蒸発散、浸透などの自然の水循環の各要素は地域的にも季節的にも大きく変動する。水に関する作物の生育環境を改善するために、自然の水循環に手を加えて、水に関する環境をコントロールすることが必要であり、とくに水が不足する場合のコントロールが灌漑であるとも考えられる。

2. 灌漑の目的 灌漑の主目的は、作物の生産に必要な水分を人為的に供給し、生育に適した水分環境にコントロールすることであるが、土壤水分の供給以外に、水の有する諸性質を利用して多くの目的に利用される。

わが国の水田における標準的な水稻栽培は移植湛水栽培である。平均10a 当り450kgの高収量を得るためには、湛水下で適正な浸透(15~25mm/d)を保ち、また、田植から落水までの100~110日間にわたって湛水深を調節することが必要である。したがって、水田灌漑では単に蒸発散で消費された水分を供給するばかりでなく、圃場における浸透および湛水深の調節に対応して必要で十分な灌漑水を供給することによって、水稻の収量および品質を向上安定させ、土地の生産力を高めている。

水田灌漑ではこのほかに、雑草の抑制および虫害の防除、連作障害の回避、温度の調節、地力の消耗の抑制、肥料分の供給など多くの目的に利用されている。さらに水田からの浸透水は地域の地下水を涵養し、送配水中の用水は集落において、防火、洗浄、家畜飲用などの雑用水として利用され、流水、湛水は地域の環境保全にも役立っている。

畑地灌漑では、畑作物の生育に適する水分環境にコントロールすることによって、まず収量と品質を向上安定させ、収益性の高い作物の導入と土地利用の高度化をはかり、計画的な生産と出荷を可能にするなど、土地生産力を高度に向上させることに役立つ。

わが国の畑地灌漑は戦後から本格的に発展し、現在はほとんどがスプリンクラ方式となっている。したがって、末端施設は管水路とスプリンクラによって構成されている場合が多い。このような施設では、管路による液体の輸送、スプリンクラによる液体の散布などの機能を利用して多目的利用が行われる。利用項目としては、①管理作業の省力化(病虫害防除、施肥、家畜ふん尿および糞粉廃液の処理)、②気象災害の防止(凍霜害防止、風食および風害の防止、塩分洗浄、降灰洗浄)、③栽培管理の合理化(発芽・活着の促進、耕起・整地の作業性の向上、環境の制御、除草剤・摘果剤の散布)などがあげられる⁵⁾。畑地灌漑施設の多目的利用は、土地生産性と労働生産性の向上に役立つものである。

3. 灌漑の性格 灌漑の有無によって世界各地域を分類してみると表-1 のようになる。非灌漑地域では農作物は天水に依存している。東南アジアのように雨期に降雨量が十分にあるところでは、畦畔によって自然降雨を貯留することによって稲作がなされている。中東からヨーロッパにかけての半乾燥地域の畑地では、深耕によって雨期の雨量を土層に水分として貯留し、表土攪拌によって土壌面蒸発を抑制する乾燥農法により作物を無灌水で栽培している。

表-1 世界の灌漑地域と非灌漑地域

灌 漑 区 分	地 域	気 候 (Miller)	乾燥指数 (Martonne) ly Is	年 雨 量 (mm)	主 要 作 物
I. 非灌漑地域 (耕作期雨量>用水量) (分布良)	西ヨーロッパ、西北アメリカ、西チリ、中部ヨーロッパ、東北中国、北アメリカ中部	温冷海洋気候 温冷大陸気候	>20 >5 >20 >5	500~1000	麦、ばれいしょ、ビート、ぶどう、とうもろこし、大豆、タバコ
	熱帯(ボリネシア、アフリカ、南アメリカ)	赤道気候	>20 >5		
II. 灌漑地域	モンスーンアジア、中部アメリカ、アフリカ台地	熱帯大陸気候	>20 >5	1000~2000	稲、砂糖きび、綿、コーヒー、ゴム、タバコ、やし、ココア
	上記の地域の一部	赤道気候 熱帯大陸気候 温冷海洋気候 温冷大陸気候			
	北中国、日本、北東アメリカ、南アフリカ、東オーストラリア	温暖東岸気候	>20 >5 <20 <5	冬乾、夏雨 1000~2000	稲、麦、あわ、とうもろこし、さつまいも、綿、コーヒー、オレンジ、砂糖きび、茶
	地中海域、チリ、西南オーストラリア、東インド、アメリカ西海岸	温暖西岸気候	>20 <5 <20 <5	冬雨、夏乾 500~1000	オリブ、ぶどう、レモン、とうもろこし、麦、いちじく、デーツ、稲
	サハラ、インダス流域、カラハリ、ペルー、メキシコ、中央アジア、西南アジア、北アフリカ、南西アメリカ、モンゴル	亜熱帯性 高温砂漠気候 温帯性低温 半砂漠気候	<10 20		

資料：福田仁志「世界の灌漑」による。

(注) ly = 年乾燥指数, Is = 夏期乾燥指数, Martonne の乾燥指数 $I = P / (T + 10)$ において P は年または夏期平均降水量(mm), T は同じく平均気温である。彼は一応の基準とし年乾燥指数 $I > 20$ を湿润地, $I < 20$ を乾燥地, $I < 10$ を砂漠とした。しかし冬雨夏乾の地域では $I > 20$ となっても夏に灌漑なしでは作物が育たないので夏の乾燥指数 I_s を求め, $I_s < 5$ では灌漑なしでは夏作不能の地域と見なしている。

灌漑は一般に、季節灌漑と周年灌漑に分けられ、さらにその性格を表すものとして主給灌漑と補給灌漑に分けられる。

世界の耕地面積は約12億3,800万 ha で、このうち灌漑面積は約2億200万 ha、灌漑率は16.358%である。灌漑面積の大きな国としては、中国、インド、アメリカ、パキスタン、ソ連などがあげられる。一方、灌漑率の高い国は、エジプト、ナイジェリア、マダガスカル、ギアナ、台湾、日本などである。乾燥地域では灌漑なしでは作物が生育してないので主給灌漑が中心であり、灌漑率は100%またはそれに近く高い。補給灌漑の行われる半乾燥、半湿润、あるいは一部湿润地域での灌漑率は、集約農業の営まれる国では高く、粗放農業の営まれる国では低い。

わが国の灌漑面積は表-2 に示すとおりである。全体の灌漑率は57%であるが、灌漑面積の大部分は水田で、水田の灌漑率は95%である。これに対し、畑地の灌漑は戦後から事業化されたもので、わずかに4%である。現在施工中のものも含めても約15%にすぎない。

明治以降の水稻作付面積と単位収量の変遷を表-3 に示す。昭和30年以降の単位収量の増加は著しい。この原因としては、品種改良、農業の開発、化学肥料の多投などの栽培技術とともに灌漑排水の改良整備も大きく寄与している。

湿润地帯に位置するわが国の灌漑は、補給的性格が強い。しかし、稲作の大部分が移植湛水栽培であるため、稲作期間の使用水量がきわめて多い。水田における必要水量は、水稻の栽培方法および水田の浸透性によって大幅に異なるが、平均的なおよその水量は約2,000mmである。このうち600~800mmは有効雨量で、灌漑水量は1,200~1,400mm程度である。水田の蒸発散量は400~600mm程度であるから、必要水量の70~80%は浸透となる。このように栽培期間中の必要水量が降雨量を大きく上回り、さらに降雨分布の偏りもあるので、湛水栽培を続ける限り灌漑は主給的な性格をもつことになる。

わが国の畑地灌漑は、湿润気候下で、根群域が比較的浅く、蒸発散量も大きくないので、少量頻繁灌漑の傾向

表-2 わが国の灌漑面積

項 目	全面積 (千ha)	灌漑面積 (千ha)	灌漑率 (%)
水 田	3,312	3,155	95
畑 地	2,371	106	4
計	5,683	3,261	57

資料：農林水産省「耕地面積統計」(1972年)および「農業用水実態調査」(1972年)による。

(注) 畑地には樹園地627千ha、草地38千haを含む。

表-3 明治以降の水稻作付面積と単位収量の変遷

	水稻作付面積 (万 ha)	同 比	10 a 当り収量 (kg)	同 比
明治 16-20 平均	258	100	192	100
" 31-35	276	107	228	119
大正 1- 5	290	113	273	142
昭和 1- 5	305	118	291	152
" 21-25	285	110	327	170
" 36-40	315	122	394	205
" 46-50	263	102	455	237

(日本農業基礎統計による)

がある。基本的な性格は根群域土層の水分を一定の範囲にコントロールするための補給灌漑であり、年間の灌漑水量はおおよそ300～500mm程度である。

4. わが国の灌漑の特徴 わが国の農業は稲作を中心に発展してきて、水田開発と河川水の反復利用はわが国の風土にたくみに順応してきた。このような歴史的過程によって水田灌漑は他種の用水とは異なったいくつかの特徴を有する⁶⁾。

(1) 灌漑は自然の水循環の中にあつて、自然と融合した形で行われている。水田からの浸透水は排水路または河川に排水され反復利用されている。これを前提として水利秩序が形成され、また地域の地下水も涵養されている。さらに排水は反復利用の過程で自然に浄化されている。

(2) 灌漑用水量は、生育の時期によって変化するほか、自然条件、営農条件などの変動によっても変化する。**表-1**は水田圃場における水管理の一例を示したものであるが、時期により湛水深を調節する⁷⁾。また、水稻の品種が変われば作期が異なり水利用のパターンが変わる。さらに田植機の導入、農家の兼業化などにより代かきなどの用水の集中化が生ずる。

(3) 水田灌漑の水利秩序は長い歴史的過程のなかで形成されてきたもので、慣行水利権が中心になっている。慣行水利権では取水量の数値が必ずしも明確でない場合が多い。しかし、ほとんどの河川で濁水流量が慣行水利権によって利用しつくされている（河川の開発や水の高度利用によってより合理的の水利用が求められている）。

(4) 灌漑システムの管理は重畳的で、取水口から末端圃場まで複雑な用水系統を通じて広域に送・配水する。これら一連の施設管理は、基幹施設については事業主体の国、県、土地改良区などが行い、末端施設については小土地改良区、村落組織などが管理し、圃場への灌漑は各農家により行われる。これらの組織機能は相互に規制しあっている。

(5) 灌漑は多くの面で公共的性格をもっている。水田農業の経営は個別的であるが、用水の立場からみると地域が一体に連結されていて共同である。分水などの水利慣行はこの間の調整機能を果たしていた。近年の灌漑施設の大規模化、高度化、多目的化は公共性を増し、一方、兼業農家の増加の混住化などは共同的性格を失わせる方向に働く。圃場整備などの発展により末端水利用の自由化が増大するので調整する機構の整備検討がせまられている。

(6) 灌漑は農村の生活、地域の定住条件の安定化に重要な役割を果たしている。灌漑用水は集落の防火用水、洗淨用水として利用され、また農村の水環境を形成している。水田の湛水は河川流況の平準化に寄与し、また地下水を涵養し、気象を緩和している。

5. 灌漑システム 灌漑システムとは、各圃場における作物栽培に必要な水量を必要な時期に安定的に供給できるように、自然の水供給を人工的に調整するシステムである。すなわち、水源から必要な水を採取し、使用者のもとへ届け、その水を消費するための組織である。

灌漑の必要性は農家の営農活動のなかにおける水の欲求によって発生する。一方、供給可能量は、流域の気象、水文、流域特性などの自然条件、水源施設の築造などの経済条件によって制約を受け、また水利権などによっても拘束される。したがって、供給の制約条件を克服するか需要を抑制するかによって需給の調整をはかることが必要になる。灌漑システムは、総量およびある時間内の流量について、灌漑水の獲得と需給の調整の役割を果たすためにつくられるものである。

灌漑システムは、水利用者、灌漑管理者、灌漑施設、灌漑管理機構などによって構成される。まず、必要な施設を築造し、これを管理運営する人の組織をつくり、さらに水を運用するためのスケジュール、規則、慣行などの水利秩序をつくってゆかなければならない。人の組織づくりと水利秩序の形成には長い時間と経験の蓄積が必

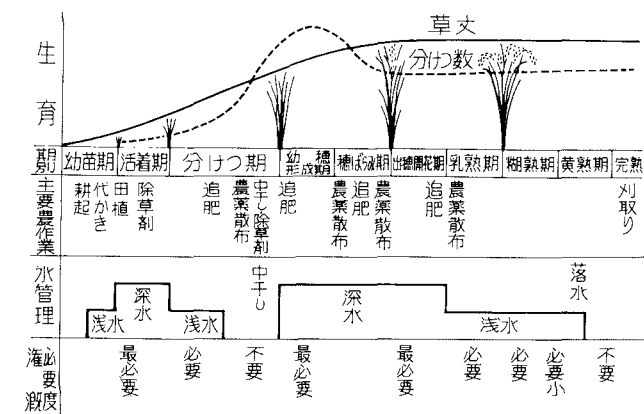


図-1 水稻生育と農作業および水管理

この間の調整機能を果たしていた。近年の灌漑施設の大規模化、高度化、多目的化は公共性を増し、一方、兼業農家の増加の混住化などは共同的性格を失わせる方向に働く。圃場整備などの発展により末端水利用の自由化が増大するので調整する機構の整備検討がせまられている。

要になる。

灌漑システムを構成する施設は、①水源施設、②送・配水施設、③圃場灌漑施設に分けられる。水源施設には、河川、地下水、貯水池、湖沼、クリークなどの種類があり、それぞれ特徴があるのでその性格をよく把握して取扱うことが必要である。送・配水施設には、灌漑用水路、分土工、水路チェック、ファームポンド、調整池、余水吐などがあり、それぞれの機能をもっている。圃場灌漑施設は圃場まで届けられた灌漑水を適正に作物に供給するための施設であり、この管理は農家が営農作業の一つとして行うものである。

灌漑の管理運営は灌漑区の規模の大小によって様相が異なる。小規模灌漑区では、水利用農家の面識があるので組織化されやすく、水利秩序も形成されやすい。施設の改良または変更に伴う水利秩序の変更に対して弾力的である。大規模灌漑区では、施設が大型化し、管理運営の機構は重疊的になる。このため組織化が難しく、経験に富んだリーダーが必要になる。水利秩序がよく整備される必要があり、変更する場合は十分な検討が必要になる。

灌漑システムのうち、貯水池はある期間にわたって水を調節する。この調節が経年的か季節的かによって施設容量、管理運営、水利秩序などに大きな差異がある。大陸などのように、大河川があり、大容量ダムの築造が可能な場合は、経年的調節をはかることができる。これに反し、島しょ部、半島部などのように小河川が多く大容量ダムの築造が困難な場合は、季節的調節をはかることが多い。

乾燥地域または半乾燥地域では、年降雨量の変動の割合が大きいのにに対し、水源水量さえ許されれば周年灌漑が要望されるので、経年的調節を行うことが多い。これに反し、湿润地域または半湿润地域では、降雨分布が季節によって偏る場合、その不足量を補給するために季節的灌漑が行われる。年降雨量の変動が小さければ比較的小規模のダム、溜池などで調節することができる。

配水システムの構成は灌漑農場の経営規模によって異なる。大経営農場では、幹支線灌漑水路から直接分水し、農場入口で量水する。農場内耕区への配水、灌漑効率などは経営内部の問題となる。これに反し、小経営農場が集まっている地区では、幹支線水路からさらに3次、4次の配水路を配置しなければならない。ここでは水路密度が問題になる。圃場整備がなされていない地区で水路密度が粗な場合には田越し灌漑が行われる。このような場合、水管理は共同体的な秩序にならざるをえない。すなわち、限られた水量を広い面積にゆきわたるよう配分するため水利慣行が重要になってくる。圃場整備事業によって区画を整理し、灌漑水路、排水路などを各耕区の一辺に沿って配置すれば、自由な水管理が可能になる。しかし、これには土地改良投資が必要になる。

圃場における水利用の自由度が高まると不規則な水需要が発生し、これに即応して貯水池から直接送水することが難しくなる。したがって、圃場の近くに、ピークの需要量を補充することができるような中間貯留の施設を設ける。これがファームポンドである。これによってピーク需要量が補給され、無効放流が少なくなり、水輸送の経済性と安全性が向上される⁸⁾。

参 考 文 献

- 1) Israelsen, O.W.: Irrigation Principles and Practices, John Wiley (1956)
- 2) 田中貞次：灌漑排水，アルス（1956）
- 3) 鈴木博彦：~~灌漑~~水灌漑法，土地改良新聞社（1955）
- 4) 福田仁志：世界の灌漑——比較農業水利論，東京大学出版会（1974）
- 5) 長 智男：畑地カンガイ計画（その1），農土誌45(3)，pp.179～184（1977）
- 6) 農業水利研究会編：日本の農業用水，地球社（1980）
- 7) 丸山利輔ほか6名：新編灌漑排水 上巻，養賢堂（1986）
- 8) 緒形博之：水資源利用と中間貯留，東京大学出版会（1984）

（長 智 男）

3. 排水とそのシステム (drainage system)

1. 排水の意義 地上の環境は多様である。場所によって、また昼夜、季節によっても、さまざまな様相を呈している。生き物たちは、そのなかで、それぞれ、自分に適した場所を選んで、その環境に適応しながら生きている。

大部分の生物は、長い時間をかけて、自分自身の遺伝形質を変えることによって、環境条件に適応してきたが、人間は衣服、居住などの道具の使用によって、熱帯から寒帯にわたる広い温度環境に適応することができるようになった。ところが、水に関する環境に適応することは、温度よりはるかに難しい。人の生活できる場所は、自然の水のありさまによって、かなり厳しく限定される。つまり、干ばつのときでも、最低限の生活用水が確保でき、その上、洪水などの災害を被むらない所でなければ、長く住むことはできない。

また、人間に食料をもたらす作物は、野性の植物に比べると、環境適応力が弱いので、うまく栽培できる作物の種類と、成育可能な土地は、その立地条件によって制約を受ける。これらの制約条件をできる限り緩和して、生活の領域を広げようとする人間の営みの一つが「排水」である。

誰でも知っているとおり、水分が少なすぎると、作物は枯れてしまう。ところが反対に、過度に水が存在する環境でも、生きては行けない。それは、水が多すぎると、酸素の供給が不十分で、呼吸しにくくなる。また、水が根の回りに長く停滞していると、新陳代謝によって生ずる排せつ物などの汚れがたまって、正常な生理作用が妨げられるからだ。

稲は湛水の中で成育する作物だが、葉が長く水につかっていると、被害を受けるので、度を越えた湛水状態は避けなければならない。また、湛水を好む根といえども、回りの水が停滞することは好まない。水の適当な動きが必要である。まして、ほとんどの畑作物については、これを健全に成育させるためには、地下水位を適当な深さに保って、根も空気に触れさせ、また、土壤水の浸透によって、必要な水分の供給と、根の回りの汚れを洗い流すことが要求される。

さらに、耕地の水はけが悪くて、土壤水分が多いと、地耐力が不十分になり、機械を使う農耕作業は、うまくいかない。近代的な農業を営むためには、耕地の水はけをよくしておくことが、大切な条件となる。また、畑地では、豪雨時に圃場の表流水が集中し過ぎると、水食によって大切な土壌が流亡し、地力の低下を招く。

一方、人間の住居の環境としても、洪水のように度を越えた水の存在は、住みやすさを損う。また、地滑りの起こりやすいところでは、土壤水分の増大が地滑り災害の誘因となる。

このように、過剰な水の存在は好ましくないので、耕地や住居地の湛水を防ぎ、さらに、好適な水分条件を保持できるように、排水システムを構成して排水が行われる。

2. 排水システムとその構成 排水システムは、水利システムの一形態として、自然の水文循環の一部を、人間の生活上の需要に整合させるために、過剰水を処理し、水分条件を制御する変換システムである。システムは、目的を達成するために必要な施設システムと社会システムによって構成されている。

また、排水システムには、後述のように、さまざまな階層と亜形態があるので、それぞれの排水目的に応じて、使い分けなければならない。そして、その目的を遂げるためには、排水地域の立地条件に適応した、独自の構造を持たせることが必要である。したがって、排水システムの構成に当たっては、次に述べる排水の原理や、諸原則に則りながら、既成の類似な条件のシステムの事例を参考にしつつ、立地条件に適応して、その目的を達するようシステムが形成される。

ところで、排水システムの主要部の構成作業では、実験による繰返しは許されないので、過去の経験を基にして、思考的な試行錯誤によるシステム要素の結合と、機能チェックを繰返ししながら、矛盾のないシステム構造を構成しなければならない。このためには、数理的な思考実験（シミュレーション）がシステム構成のための有力な手段となる。

3. 排水の基本原則——水収支 ある場所で、どのようにして水過剰が生ずるか。また、どうすればこれを

防ぎ、除くことができるかを、量的に的確に把握するには、まず、水収支（質量保存の原理）に基づいたモデルを考えるのがよい。

これは、閉じた検査面に囲まれた排水対象空間を想定して、ある時間内に入る水量“流入”と、出て行く水量“排出”，ならびに内部にたまる水量“滞留”の三つの要素に着目して、その量的関係を明らかにすることである。「排水」とは結局、これらの水量を制御することに外ならない。

水収支に関するモデルの三つの要素のうち、排水処理に当って、最も重視しなければならないのは、滞留である。作物の成育や農耕作業の効率は、検査面内に滞留している水量の多少によって左右されるので、この水量を好適なレベルに保つことが、排水処理の主要目標となるからだ。たとえば、「洪水排水」では、滞留水量は、許容湛水深という形で、排水計画の最も基本的な指標となっている。

ところが、排水手段によって、滞留水量を直接に制御することはできない。ストック（滞留）はフロー（流入、排出）の差として増減するという質量保存の原理が厳存しているからである。つまり、水収支モデルで、滞留水量を動かすものは、流入と排出だから、排水処理において、われわれが直接的に手を下すことができるのは、流入または排出の制御に限られる。たとえば、排水区域の回りに堤防をめぐらして、外部からの流入を抑制し、また、排水路や排水ポンプを設けて、内部からの排出を促進することによって、結果として滞留水量が抑制される。これが排水の基本原理である。

4. 水の空間的分布 水収支モデルは、排水の主目標である滞留水量の時間的推移の追跡を主眼としているので、排水システムのモデルとしては、最も基本的なものである。ところが、滞留の量を動かしている流入と排出の挙動を説明するには、このモデルだけでは十分ではない。流入、排出を制御するには、どのような措置をとるべきかという問題については、さらに、水の空間的な移動と分布を考えなければならない。

水の空間的な移動と分布を取扱うモデルは、水収支モデルほど単純明快ではない。しかし、これは水の移動に関与する因子を顕示しているのだから、流入、排出を制御するには、どの因子を、どのように処理すればよいかを、このモデルによって決めることができる。

排水対象空間が広いと、その内部に一樣に水がたまるのではなく、場所により水が集中して、局所的な湛水がおこることがある。たとえば、平坦な水田地帯の湛水を、長い導水路で排水ポンプ場へ導いて、排水本川に排出する場合に、上流の水田の区域では、ひどい湛水があるのに、導水路の能力が足りないために、下流のポンプ吸水槽の水位が下がり過ぎて、排水ポンプの運転を一時中止せざるを得ないことがある。この現象については、水の空間的・時間的分布に関するモデルによらなければ、合理的な取扱いはいできない。

また、広域の水田の排水では、もっと複雑なモデルが設定されることがある。→[広域排水] これまで、この複雑なモデルは、数理的な運用が困難なために実際に使われることは少なかったが、今日では、コンピュータの利用によって、その実用性は急速に高まりつつある。

5. 情報ネットワーク 排水システムは外見上、排水路や排水ポンプなどの施設によって構成されていて、過剰な水は、これらによって排除されることになっている。しかし、このシステムは、施設が自分で動いているのではない。人間が排水目標を設定して、それを達成するように管理し、運転しているのだ。排水システムの実体は、管理する人間も含めた有機体である。

一般に、水利システムは、施設システムと社会システムからなっているが、両者にまたがるサブシステムとして、施設と、これを管理する人間とのつながりを扱う管理サブシステムが存在する。排水管理者と排水施設とをつないでいるのは情報だから、この管理サブシステムは、情報ネットワークの形態をとることになる。

情報は、それを受けた人間に何らかの影響を与えて、行動を起こさせる働きをもっている——影響を与えないものは雑音にすぎない。排水管理サブシステムでは、情報は、管理者に何かの排水処理行動を起こさせ、それによって、水の動きが制御される。そして、その水の状態が新たな情報源となる。管理者は、その情報によって次に続く行動をとる。このような情報→制御行動→水流→情報という基本ループを組合わせた複雑なネットワークによって、管理システムは活動する。

この情報を含めた排水管理サブシステムのモデルが確立すれば、排水管理を実行するために役立つと思われるが、これまで、その理論的な裏付けも弱くて、実用に耐えるモデルはまだ提示されていない。しかし、情報科学、

技術の進歩に伴い、情報ネットワークに関するモデルが開発され、これを使ってシミュレーションを行い、排水管理を合理的に遂行できる日は、次第に近づきつつあるようだ。

6. 排水システム構成の条件 排水システムの能力は、排水施設の規模によって定まる。規模が大きければ排水能力は大きい、所要経費はかさむ。施設規模を決める基本的な要件は、そのシステムに与えられる目標条件と環境条件である。

システムは目標条件を満たしうるように構成され、また働かなければならない。それゆえ、この条件を明示することは、排水計画（システム構成作業）の最も大切な基本事項となっている。排水計画で示されるべき目標条件は、システムによって表現の仕方の違いはあるが、原則としては、排水地域内の水の滞留について、達成すべき水準で示される。

排水の目的が違えば、目標条件も当然違ってくる。たとえば、同じ排水受益地でも、「洪水排水」の目標条件は、地面上の許容湛水位で示されるのに対して、「常時排水」のそれは排水路の目標水位で示される。

次に、システムの環境条件とは、立地条件によってシステムの活動を拘束し、制約する条件である。その場合、システム自身の働きで、この条件を変えることはできない。

排水システムの環境条件は、通常、水収支モデルの流入と排出を拘束する。たとえば、「洪水排水」では、雨量と排水本川の水位（外水位）が環境条件となっている。

環境条件は、水文現象のリターンペリオド（頻度）を付けて、 N 年確率の降雨量というように示されることが多い。これは、排水処理に要する経費（施設建造費と維持管理費）と、排水処理の結果えられる便益との関係から、最も合理的なシステムの規模を選びたいという考え方に由来している¹⁾。しかし実際には、最適な N を求めることは技術的に難しいので、期待する便益と、経費支払い能力とのバランスを考慮して、経験的に定められた 10 年のリターンペリオドが、土地改良の排水システムでは、現在広く採用されている。

ここで述べたシステムの構成条件は、主として、排水計画の作業を拘束するものである。

7. 排水と水文解析 われわれは、水文循環という地球規模の大きな水の動きの中で暮している。排水を実施しなければならないような水過剰の現象も、その循環の中の局所的な出来事である。したがって、合理的な排水処理（適切な排水施設を作り、これをうまく管理すること）を行うためには、水文現象をよく理解して、その法則に従うことが大切である。

排水システムに関係のある水文現象のうち、河川の洪水量は最も重要な水文量で、そのリターンペリオドを求めなければならない場面がしばしばある。ところが、河川流量のデータは、雨量のデータに比べると、はるかに入手が困難で、流量データから直接に、そのリターンペリオドを求めうる機会は少ない。それゆえ、排水システムの環境条件（ N 年確率の洪水量）は、 N 年確率の雨量から、流出解析によって間接的に求めることが多い。このために使われる N 年確率の雨量が、排水計画の計画雨量である。この場合、水文統計学の手法を応用して、実測雨量データを処理して計画雨量が算定される。→〔計画雨量〕

地表、地下の流入流量や、排水本川の外水位（本川流量から水位に変換されたもの）は、それぞれの流域に、この“計画雨量”が降った場合を想定して、水文学の流出解析の手法を応用して算定される。→〔流出モデル〕

こうして定められた流入や排出の値（システムの環境条件）を使って、水収支モデルによる滞留の計算が行われ、この量を指標として、システムの排水能力がチェックされる。

8. 排水システムの階層構造 個々の排水システムは、条件によって、千差万別で、水の過剰現象に対する対応もさまざまだが、これらを水収支モデルの検査面の空間的な広がり的大小によって、階層に分けて考えてみると、排水システムが階層的な構造をなしていることが分かる。

モデル空間として一番小さいものは、作物の根のまわりの土壌空間である。次に、これを含むやや広い空間として、一区画または数区画程度の圃場空間があり、さらに、これを含む大きな空間が圃場集団としての地区空間である。通常の排水事業の対象となるのは、この地区空間が多い。この地区空間は、さらにこれより広い流域空間に含まれている。

これらの各階層の検査面内の水収支を取扱う場合に、当該空間より 1 ランク上の水の存在状態が、当該モデルの水の流入、排出を拘束する条件として作用する。たとえば、圃場空間から排水暗渠による排出は、その外側に

つながっている地区空間の排水路の水位によって拘束される。つまり、地区空間の排水路の水位を下げる措置を講じなければ、圃場の排水を進めることはできない。

もっとも、現在では、排水ポンプを使えば、その圃場限りでは、この拘束条件を克服して圃場内部の過剰水を排除することも不可能ではない。しかし、その結果は、圃場空間の過剰水を、1ランク上の空間である地区空間の排水路へ持込むことになる。もし、地区の排水路がこれによってあふれること——その排水路沿いの圃場が、みな同時にポンプ排水を実行したとすると、あふれるかもしれない——になるならば、その地域としては、過剰水の処理問題を解決したことにはならない。こうなると結局、最終的に排水問題を判定するには、流域の水の空間的分布パターンによって、各所の過剰水の局所的な集中状況をチェックすることが必要となるだろう。

9. 農耕地排水システムの諸形態 農耕地の排水では、都市の排水に比べて、土壤中の過剰水の排除を重視する。これは作物を健全に发育させ、また円滑な農耕作業を遂行するために大切なことだ。

土壤中の過剰水を排除するには、圃場に深い溝（開渠）を掘って、回りの土から水を浸出させるのが、最も確実な方法である。また、開渠は土壤水を集めるばかりでなく、地表水も効率よく集め、運ぶことができるので、圃場の排水施設として、最も主要な役割を果たしている。→〔開渠排水〕

ところが、開渠は大切な圃場の地面を占有するばかりでなく、その浸出効果はあまり遠くまでは及ばない。そこで、これを補うために暗渠が使われる。暗渠は開渠に比べると経費はかさむが、土地を占有しないので、モグラ暗渠のように密に配置して、排水効果をあげることもできる。

暗渠はその材料や作り方が工夫されて、土壤水の排除による土質の改良や、平坦粘質地の地表水の排除にも役立つようになってきた。これから圃場の排水手段として、ますます重要さを増すだろう。→〔暗渠排水〕

古来、日本では水稻を植えることのできる水田は、畑と地目が区別され、排水の仕方も違っていった。水田は、どちらかという、水の多いところにあるので、その排水は洪水時の湛水防除と、非灌漑期の乾田化が主眼となっている。→〔田面排水〕

これに対して、畑では豪雨時の土壤侵食防止と、常時の地下水位制御が主眼である。→〔畑地排水〕

最近では、水田利用再編の政策によって、水田に畑作物を栽培することが多くなったので、田面排水の目標条件が厳しくなって、無湛水を目指す排水が試みられている。しかし、豪雨時に広い区画の水田圃場での無湛水は、至難の業であるばかりでなく、まわりの地域に、そのしわよせが及ぶ恐れが強い。

ところで全国的に、水田、畑地を問わず、湛水防除を主眼とする洪水時の排水は、排水システムとしては最も一般的なものである。地形の複雑な日本では、いろいろな洪水排水システムが構成されている。湛水防除の基本原則は、水収支モデルを適用して、外水の流入を防止し、内水を速やかに排出することである。最近では、強力な排水ポンプの導入によって、システムの能力水準は、次第に高まりつつある。→〔洪水排水〕

低湿地や干拓地では、降雨のないときにも、湛水しないように、さらには乾田化をはかるために、常に排水が実施される。乾田化は、深い排水路と圃場内の暗渠を配置して、地下水位を下げることによって実現する。常時排水も排水ポンプが導入されて以来、その効果はまことに著しく、土地改良事業の最も大きな成果の一つとなっている。→〔常時排水〕

平坦な広い地域では、その地域内部で、湛水が局所的に集中して被害が偏ったり、排水ポンプの効果を地域の末端まで十分に発揮できないことがある。これを防ぎうるような排水システムを構成するには、広域的に分布した複数の排水目標をもった、やや複雑なモデルを適用して排水計画をたてる。→〔広域排水〕

将来、強力な排水ポンプの導入が進めば、ますますこのような広域的な処理が必要となる。また、遊水地のような調整施設の配置も考えなければならないだろう。

流量のあまり多くない川の河口では、河流の掃流力よりも、海岸漂砂の堆積のほうが卓越して、河口が閉塞し、その上流に湛水が生ずることがある。このような排水不良を克服するには、特殊な措置が必要である。安定永続する河口排水は、排水システムの中でも、技術的に最も難しいものとされている。→〔河口排水〕

参 考 文 献

1) 緒形博之：排水計画（その2）、農土誌、40(2)、pp.120（1972）

（緒形 博之）

4. 農業水利開発 (agricultural water development)

1. 農業水利の定義とその開発の意義 農業水利を営農のための水条件を確保すること、あるいは農業用水を農業を営むための用水と定義づけることもできなくはないが、農業水利や農業用水の内容は、このような簡単な用語で表現できるものでは必ずしもない。それは、農業水利にしろ、農業用水にしろ、きわめて複雑な内容をもっているばかりではなく、時代の変遷とともにその内容に変化がみられるからである。かつては、わが国で農業用水、農業水利といえば、それは水田を対象としての用水であり、とくに農業水利の開発とか改良とかいう場合には、ハードな形の施設やその計画をさすものであって、おもに土木・工学的な手段によるものであり、そこで行われるソフトな内容をさすものではなかった。つまり、頭首工とか、用排水幹線水路とか、サイホン工とか、分水工とかの施設による開発、施設の改良をさすものであって、その運用および運用の内容、組織等を含むものではなかった。現在でも、農業水利についてのこの考え方は継続されている。しかし、そのような見地に立って農業水利を一見してみても、施設や技術に従来とは異なった方向性が一般化しつつある。急速に事業化されているパイプライン方式による各水田一筆ごとへの、一団地を単位とし、あるいは数団地を対象としての配水方式と、その中央制御によるコンピュータを導入した統一の送配水の管理は、昭和20年代後半から30年代については考えられない農業水利の方式であった。もっとも、クリーク地帯のごく一部においては、この原形と目される方式が小単位で行われていたが、これは例外的な扱いであったと考えてよい。

農業水利は、一般的には、湛水による水田稲作をその主流として発展してきた。最近においては、これはわが国の農業の位置、農業構造、社会一般との関連における農業および営農の変化に影響されることが大きいと思われるが、畑地の灌漑、ハウス栽培の面積的・作目的拡大と時期的変化に伴う水利用、田畑輪換・耕地の汎用化とそのための水利用等を考えなければならなくなってきたし、畑地における農産物とくに蔬菜類や根菜類等の出荷のための「洗い水」も農業水利上考えなければならなくなっている。また畜産の用水も農業用水の一部として無視することはできなくなっている。

このように、2,000年来継続してきた稲作と農業用水を考えてみると、きわめて短期間の中に、農業での水利用は大きな変化をなしてきたのであるが、このことは、施設の形状・形態や利用の実態の変化にとどまらず、水利用上の組織や体制と施設の維持・管理を含む水利用の実務の中における変化にも大きく作用し、しかもこのことは農業部門の内部にとどまらず、国土および地域をあげて社会的な問題に発展し、水質・水量上の問題、地表水と地下水の問題、用・排水路の利用とその管理運営の問題、等々、地域の国土および環境保全、自然保全の問題として社会に一般化されている。このことは、農業水利が灌漑を中心とする農業上の機能のみに限定されていたのではないことを示すものであって、目的は農業を対象としていても、派生的な効果がその地域社会に及ぼしていたことを表示するものであった。しかも、地域社会に及ぼしていた派生的諸効果は、わが国の水田農業への行政的指導の方向とはうらはらにますます重要視され、地域社会の農業側への要求となって、一般化され、地域運動となっている場合も多い。

しかし、農業水利にそのような派生的な効果・効用があったからといって、農業用水側が現在のような社会体制の中で、主客を転倒したような形の農業水利を展開する必要のないことも農業側としては正論である。

このように、農業水利は、その内容が多元・多次にわたるものであるから、その開発についても目的、意義、対象、考え方に画一的なものを見出すことは困難である。かつて農業用水は地域用水であるといったことがあり、現在でも一面においてはそのような考えをもっているが、厳密な意味ではこれは誤りである。これは農業用水の派生的効果・効用を大きく評価しての、また地域末端に到るまでの用・排水の施設および用・排水の管理をしているのは農業側以外にないことを内容として表現したものであった。農業用水が地域用水そのものであるということになると、農業用水の主たる目的が、派生的な効果、効用と同格となり、この中に含まれることになる。そこでは農業水利の施設は地域用水機能を中心として造成されることになり、その維持管理をはじめ、運営には地域が当ることになるはずである。わが国の農業水利は近世までは、一般的にそのような傾向を強くもって発展

してきた。それは、例外的な人口集中地を除くと、いずれの地域においても農村を構成する村々が地域そのものを形成していたからである。そこでは用・排水施設やその維持管理運営には村々が当り、費用の負担等も、「マンゾー割」の名の示すように部落費によって支払われたり、さらには通水に先だって行われる水路の井ざらえ、補修の出歩に部落の全戸が当たっていたように、農業水利は、部落、村落全体の総合的な性格を備えていた。

農業水利は、開発の時点での意識の有無にかかわらず、地域的に多目的機能を果たして発展してきたので、将来においてはこれを農業水利の中に従たる機能として位置づけて、農業水利を考える方向が必要であり、それがまた社会的な要素でもあり、地域をふまえての農業水利の発展のあり方であると考えられる。

2. 農業水利開発の概観 新規の開発や造成に当って、最も重要なことは、目的に沿っての広範にわたる調査である。当を得た調査が行われていれば、その事業は8割方成功したとみてもよい。農業水利開発の場合には、現況の諸調査のほか、歴史的な諸調査、考察が是非とも必要で、また水利についての技術的内容を中心とした調査に加えて、将来にわたっての当該地域における農業構造、営農の組織・形態・規模等についての考慮と、これらの中から形成されることになるが、造成された農業水利施設の維持管理のあり方についての検討も不可欠である。水利技術の側面のみを採択した農業水利開発は、真の農業水利開発にはつながらなければならぬか、施設の規模、形態、様式、運用等について問題が生じ、日ならずして改良・改修がなされなければならないことになる。

農業水利開発は、特定の地域を対象としての農業開発を主目的として行われるものであり、農地の造成や改良と合せて行われることが多い。したがって、地域的なものであり、調査も地域を中心として行われなければならないが、水源については、必ずしも地域内において開発されるとは限らないというよりは、むしろ地域外に求めることが多いので、関係する地域についての調査が必要となる。とくに、わが国では、農業用水源の主流をなしている河川水を水源とする場合にあっては、このことは重要であり、調査の内容も水量、水質の諸調査のみではなく、流域の開発を含む河川全般にわたって広い範囲についてなされなければならない。

わが国の農業用水源別の灌漑面積、取水量、施設数をみると表-1のようであって、河川に水源をもつものが、灌漑面積で88.1%、取水量で87.3%、施設数で84.5%を占め、次いで溜池、地下水となり、湧水や集水暗渠を水源とするものは、いずれの項目も0.5%を割っている。施設1カ所当りの灌漑面積をみると、全体では22.9haであるが、河川が23.9ha、溜池18.2ha、地下水11.9haであり、湧水が27.2ha、集水暗渠が50.3haとなっており、湧水や集水暗渠に水源を求めるものは、施設数は少ないがまとまった地区の灌漑をしている。河川の灌漑面積が多いのは、大用水の灌漑地区は内部での反復利用がなされるためである。この傾向は取水量1 t/s当りの灌漑面積にも現れている。また各水源別の中における地方的特長もみられるが、水源別の地方的特長はとくに強く現れている。たとえば、東北、近畿臨海、中国山陽、九州北部地方には溜池が多いこと、地下水利用は、東海、近畿内陸、四国、九州北部の諸地方に、湧水利用は、四国、九州北部に、集水暗渠利用は、関東内陸、東海、東九州および東北一部にみられるのみで、他地方にはまったく行われていないこと等である。また、これらの施設形態および利用の内容についても、それぞれの地方によって、技術上あるいは運営上の特徴と相違があるが、それは農業水利の多くが自然を有効に利用していることから、地方的な歴史をとおしてつくりあげられた結果と考えてよく、農業用水の開発において、このことは十分に考慮されなければならない。

農業水利開発に必要な共通の調査事項は、その地域での農業構造や営農組織、規模等を除けば、水源地域を含むその地域の気象の諸条件、とくに水源地域においては、降水と流出についての諸条件と、地域内においては自然立地（地質や土性、土質を含む）が重要であり、当該地域が現在までどのような理由で用水の開発がなされなかったかを明らかにすること、そして、開発計画の時点で、その障害が克服されるか否かが中心となる。

さて、農業水利開発には、例外なく施設の建設が伴うが、最も注意しなければならないことは、地域の自然を高度に利用することであり、自然に対して「負」の条件を与えないことである。特定地域における用・排水の基本構造は、人体における血液-血管のようなもので、自然の環境を整えながら、農地での生産を中心において、用水路、排水路が機能的に作用しなければならないのである。ただ人体の場合には、個の体内において循環系をなしているのに対して、農業用・排水の場合には、自然界を通しての構造となっているだけの相違である。したがって、用水が枯渇したり、水質が汚濁したり、用水と排水とのバランスを失ったりする場合には、これを補正し、バランスの調整をささなければならないのであり、そのために施設は介在するのである。

表-1 水源別農業用水施設数, 灌漑面積, 取水量

(単位: カ所, ha, m³/s)

地域	事 項	水 源											
		農 業			用 用			水 施 設			湧 水		
		河 川			溜 池			地 下 水			湧 水		
全 国	104,591 (84.5)	2,499,444 (88.1)	16,283.7 (87.3)	16,114 (13.6)	293,393 (10.3)	2,074.8 (11.1)	2,686 (2.2)	32,057 (1.1)	222.6 (1.2)	423	11,489	65.9	
北 海 道	4,443	230,500	1,059.5	163	19,263	96.2	0	0	0	0	0	0	
東 北	18,375	711,992	3,537.1	2,464	62,086	325.4	132	1,098	7.7	47	3,224	14.1	
関 東 内 陸	12,074	306,599	2,180.8	839	11,697	111.7	278	4,813	11.6	54	1,154	5.7	
関 東 臨 海	2,437	166,363	587.7	387	11,203	26.5	272	5,714	12.5	19	247	1.0	
東 海	8,587	220,175	1,839.9	1,230	18,228	141.4	321	4,067	20.9	22	1,129	3.0	
北 陸	4,274	153,669	1,215.8	596	15,049	46.2	188	1,837	11.1	31	1,276	7.7	
近 畿 内 陸	6,481	89,103	683.0	1,446	16,480	79.5	577	5,382	34.1	0	0	0	
近 畿 臨 海	6,433	82,104	614.3	2,536	47,746	445.7	71	1,040	8.0	1	22	0.1	
中 国 山 陰	5,523	54,088	527.4	306	2,979	82.9	2	11	0.1	1	80	0.4	
中 国 山 陽	11,170	105,061	693.1	2,198	31,650	254.5	19	265	2.3	0	0	0	
四 国	6,992	85,688	829.2	1,240	12,174	202.8	398	1,392	43.9	100	1,200	15.4	
九 州 北 部	11,683	176,577	1,303.0	2,202	35,146	195.9	333	4,424	28.8	97	1,902	6.4	
九 州 南 部	6,089	116,982	1,211.9	492	9,306	65.0	88	1,728	41.4	44	1,123	12.0	
沖 縄	30	543	1.0	15	386	0.8	7	286	0.2	7	132	0.2	

地域	事 項	水 源											
		農 業 用 用 水 施 設						小 規 模 施 設			計		
		集 水 暗 渠			小 計			施 設 数 (千 カ 所)	灌 漑 面 積 (千 ha)	取 水 量 (千 m ³ /s)	施 設 数 (千 カ 所)	灌 漑 面 積 (千 ha)	取 水 量 (千 m ³ /s)
施 設 数	灌 漑 面 積	取 水 量	施 設 数	灌 漑 面 積	取 水 量								
全 国		30	1,510	6.1	123,844 (100.0)	2,837,893 (100.0)	18,653.1 (100.0)	377.9	486.0	4.1	501.8	3,323.9	23.3
北 海 道		0	0	0	4,606	249,763	1,155.8	22.1	51.6	0.2	26.7	301.4	1.3
東 北		2	32	0.2	21,020	778,432	3,884.7	51.4	78.8	0.6	72.4	857.2	4.5
関 東 内 陸		13	1,191	1.9	13,258	325,454	2,311.7	55.9	43.6	0.5	69.2	369.1	2.8
関 東 臨 海		0	0	0	3,115	183,527	627.7	9.7	9.2	0.1	12.9	192.7	0.8
東 海		9	172	1.4	10,169	243,771	2,006.7	24.5	22.5	0.5	34.6	266.3	2.5
北 陸		0	0	0	5,089	171,831	1,280.7	7.7	19.0	0.1	12.8	190.8	1.4
近 畿 内 陸		0	0	0	8,504	110,965	796.5	13.9	13.8	0.1	22.4	124.8	0.9
近 畿 臨 海		0	0	0	9,041	130,912	1,068.1	20.7	35.2	0.3	29.7	166.1	1.4
中 国 山 陰		0	0	0	5,832	57,158	610.7	14.9	13.4	0.3	20.7	70.6	0.9
中 国 山 陽		0	0	0	13,387	136,976	949.7	67.9	85.1	0.5	81.3	222.1	1.4
四 国		0	0	0	8,730	100,454	1,091.3	26.0	16.2	0.2	34.8	116.7	1.3
九 州 北 部		0	0	0	14,315	218,049	1,534.1	31.1	41.7	0.6	45.4	259.7	2.1
九 州 南 部		6	115	2.6	6,719	129,254	1,333.1	31.8	54.7	0.6	38.6	184.0	1.9
沖 縄		0	0	0	59	1,347	2.2	0.2	1.2	0.0	0.3	2.5	0.0

資料: 農林水産省構造改善局「農業用水実態調査」(1977)

自然界には、われわれが想定することのできない要素が多く含まれており、農業水利も属地性が強く作用することから、その開発に当っては、その後の運営を含めて水利史の検討がとくに重要である。水利の開発は、それぞれの地域で時代的な背景を強くうけて歴史をつくってきたが、大河川の中・下流域の広範な沖積地にその場を求めるようになったのは、中世末期から近世にかけてである。とくに近世には、沖積地域を対象としてわが国の大用水路といわれているものの大部分の開発が行われている。しかもこれら用水路の開発に当っては、単調な開発はほとんどみられず、立地的にも、技術的にもまた経済的にも困難な事業を通してようやく完成しているものが多い。そして、そのような中で、立地と時代に適応した技術、施設が開発され、農業との結びつきも高度につくりあげられてきたのである。たとえば、利根川筋の代表的な用水路である葛西用水路は、旧河道を巧みに利用し、溜井を生み出し、流域からの流水を加用水として利用し発展してきたし、木曾川に水源をもつ木津用水は地域内に水源をもつ小河川をうまく活用しての用水開発であった。時代が若干くだると地域内の条件も徐々に整えられ、見沼代用水路にみられるような干拓と合せての用水専用の水路が開発されるようになった。

さらに、徳川末期から明治初期になると火山山麓や台地および用水源を他地域に依存しての開発がすすめられたわが国最初の国営事業となった安積疏水事業は、日本海側の水系に属する猪苗代湖を水源としての太平洋側の開発であったし、那須疏水、三本木原の開発は、火山山麓、台地の開発のための用水開発であった。以上のように、農業水利は農業立地上の中心をなすばかりでなく、その根底において地域の自然と人文・社会に永続してかわりをもつ事業であるから、その開発に当っては農業に中心をおきながらも、歴史をふまえて、国土の保全を考慮しての計画・遂行でなければならない。

(佐藤 俊郎)

5. 農村地域の水質保全 (water quality conservation for rural community)

1. 河川の水 『万物の根源は水である』といわれるように、水は人間や生物の生存にとって不可欠の要素であるとともに、農業や工業などの産業振興のためにも重要な資源である。

このような理由から、人類は水の入手しやすい河川周辺部に、適地を選んで集落をつくり、必要水量を確保するとともに、農業や工業を発展させてきた。つまり、河川は洪水防御を目的とするだけでなく、安定した水供給の動脈として地域社会の発展に役立てられてきた。

わが国の水利開発は、農業・農村から始まったといわれ、表-1 に示すように農業用水源の98%は、直接河川から、あるいは河川の水を貯留したため池から取水しているのが現状である¹⁾。

河川の水はいかに清澄にみえても、化学的には純粋な水ではなく、流域

表-1 農業用水源と摂取量¹⁾

水 源	取水量(m ³ /s)	同左 (%)
河 川	16,099	87.2
溜 池	2,076	11.2
地 下 水	215	1.2
集水暗渠 および湧水	72	0.4
計	18,462	100.0

や周辺環境の影響を受けて表-2 に示すように種々の物質を溶解している²⁾。

これは図-1 に示すような水文学的水循環の過程で、水蒸気が大気中の酸素や二酸化炭素、二酸化硫黄などのガス成分を溶解して雨滴となり、その雨滴が落下するときの衝撃力や溶解ガス成分などの物理・化学的作用により、地表の岩石や鉱物、植物遺体などを風化・溶食し、その一部を浮遊・溶解して流下しているためである。

したがって、河川の水質は表-3 に示すように水系(流域)ごとに異なっており、また、同一水系であっても河川の上流部と下流部では、水質が異なる場合が多い(表-3)。

表-2 は日本と外国の河川水質を比較したものである。わが国は周囲を海洋に囲まれた細長い島国であり、水成岩系統の地質が66%、火山

岩系統の地質が34%を占めているなどのため、日本河川の平均水質は世界河川の平均に比べてSiO₂、SO₄、Na、Cl などが多く、Ca や Mg が少ないという特徴がある。わが国では、温泉が豊富に存在するため、酸を含んだ河川も多い。これらの河川の水はそのまま農業用水に利用すると農作物に被害が出るので『酸性毒水』、『温泉毒水』などと呼ばれる。『温泉毒水』は青森、秋田、山形、群馬、長野各県のきわめて限られた地域に見られる。

また、福岡県の炭坑地帯を流れる河川では、炭坑からの坑内廃水、洗炭廃水などが流入するため、SO₄ 濃度は154 mg/l ときわめて高いものもあった。さらに微粉炭など各種の浮遊物を高濃度で含んでいたため農地や農作物に悪影響を与えるといわれ、当時は『鉱毒水』の一つであった³⁾。鉱毒水は炭坑廃水だけでなく、銅、亜鉛、カドミウム、ヒ素などの鉱業廃水も農地や農作物に悪影響を及ぼす鉱毒水であり、群馬県渡良瀬川(亜鉛、銅)、富山県神通川(カドミウム、亜鉛、鉛)などの鉱毒水は有名であった^{4,5)}。しかし、『温泉毒水』や『鉱毒水』などの流れる河川は一部の地域に限られ、1955年ごろまでの日本の河川では全般的に良質の水が流れていたといわれる。

1960年代から始まった日本経済の高度成長は、重化学工業の生産活動を活発化させるとともに、人口の都市集中、都市の拡大、農村の都市化・混住社会化などの変化を引き起こした。その結果、生産活動に伴う工場廃水や、

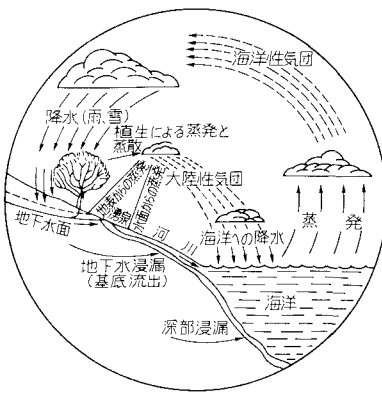


図-1 水循環の模式図⁷⁾

表-2 日本と外国の河川が含有する化学成分の組成比較

	Ca %	Mg %	Na %	K %	CO ₂ %	SO ₄ %	Cl %	NO ₃ %	SiO ₂ %	O ₃ %	計 %	無機塩類の合計 mg/l
世界河川平均	20.39	3.41	5.79	2.12	35.15	12.14	5.68	0.90	11.67	2.75	100.00	99.9
日本225の河川平均	12.51	2.72	9.51	1.68	21.60	15.11	8.19	1.48	26.73	0.47	100.00	70.2

(用水と廃水Vol. 2, No1, 小林 純, 日本の河川の特質についてより抜粋)

注) ここで河川とは、用排水路、小川など水の流れている水路を含めていう。

表-3 近年の日本代表河川の水質（1973）

（単位：pH, mg/l）

府県名	河 川 名	pH	DO	BOD	COD	SS
北海道	石狩川下流（石狩大橋）	6.8	10.7	1.9	10.8	46.0
岩手県	北上川上流（紫波橋）	7.7	8.5	1.2	2.0	10.7
宮城県	下流（鹿又）	7.3	9.2	1.6		26.5
栃木県	利根川上流（大谷川）	7.6	11.0	1.7	0.8	2.0
茨城県	下流（布川）	7.7	9.2	2.4	4.6	23.0
新潟県	信濃川上流（清津川発電所）	7.2	9.9	1.0		9.0
新潟県	下流（上水道取水点・上流）	6.9	10.2	1.8		12.0
岐阜県	木曽川上流（大山）	7.0	10.8	1.1	1.9	12.0
愛知県	下流（木曽川大橋）	7.6	9.2	2.8	7.7	25.0
京都府	淀 川上流（桂川月夜見橋）	7.3	10.8	1.5		7.9
大阪府	下流（枚方大橋左岸）	7.2	8.2	4.9		51.8
徳島県	吉野川上流（加茂谷川）	7.9	11.8	0.6	1.7	7.3
徳島県	下流（高瀬川）	7.5	9.2	0.7	1.0	10.2
福岡県	筑後川上流（柳野橋）	6.5	10.9	0.9		N D
福岡県	下流（花宗橋）	7.0	8.1	2.3		261.0

*全国公共用水水質年鑑1975年版による

水田農業を中心とするわが国では、農村の河川を流れる水は、灌漑用水として稲作を保全するとともに、村人たちの暮らしを保全する『共有財産』であるという思想が生まれ、水を大切にして『清澄な水』を保全しよう、という村人達の『小さな努力』が古くから続けられてきた。

村はずれを流れる水路の片隅みに水車小屋を設け、農家の庭先を流れる水路を利用して庭池や洗い場などをつくり、また、岸边には花木を植栽して農村の景観を整えるなど、村人達は『水との共生』をとおして『豊かな暮らし』を維持するため、『清澄な水』の保全に努力してきたのである。

1960年以降になると、『清澄な水』を保全するといった農村の良俗は消滅し始めた。経済成長に伴う農業・農村の近代化、兼業化、混住社会化などの変貌は、『水との共生』の思想や、農村の良俗を過去のものとするように変ってきた。とりわけ都市近郊の農村では、集落を流れる排水路の水は汚濁し、ときには悪臭がただよふところも多くみられるようになってきた。

国土が狭く、資源に乏しいといわれるわが国では、唯一の恵まれた資源は『清澄な水』である。農村は都市の上流部に位置することが多く、農村を流れる水は農業用水として反復して利用され、また、一部は都市の上水道や工業用水に利用されることが多い。農村地域の恵まれた水資源を、農業用水、水道用水、工業用水などに高度に利用して種々の産業が発展し、『豊かな暮らし』が営めるよう『清澄な水』の保全に努めることが必要である。

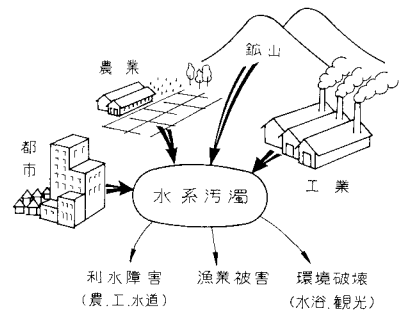
参 考 文 献

- 1) 農業土木学会編：農業土木ハンドブック改訂四版，丸善（1979）
- 2) 小林 純：日本の河川の特徴について，用水と廃水，Vol.2, No.1（1960）
- 3) 水利科学研究所編：水質汚濁と廃水処理，地人書館（1962）
- 4) 小林 純：水健康診断，岩波新書（1971）
- 5) 農業土木学会編：農業土木ハンドブック改訂三版，丸善（1969）
- 6) 田淵俊雄：農業土木技術者のための水質入門，農土誌52(8)，（1984）
- 7) 谷村喜代司：水問題への対応，第一法規出版社（1980）

生活行動に伴う都市排水（生活排水）が、未処理のまま河川に放流され図-2に示すように水質汚濁が進行した。このため1970年には水質汚濁防止法が制定され、放流水の水質基準を設定し、河川・湖沼の水質汚濁を防止するような規制が始まった。

2. 農村地域と水質保全

農村という言葉のイメージには、『水と緑と青い空』といった豊かな自然環境をもつ田園風景が想起こされる。

図-2 汚濁発生源⁶⁾

(西 口 猛)

6. 水管理システム (water management system)

1. 水管理と水管理システム 水管理という言葉は最近まで個別農家の圃場における水のかけひき、すなわち圃場レベルでの水管理を指すことが多かった。しかし今日では、農業水利施設をとりまく総合的な活動を指して用いられている。岡部は、これを①栽培管理（作物栽培のための圃場における水管理）、②集落における水管理、③水利団体における水管理、④組織管理に分類している。集落における水管理とは支線レベル以下のその集落が関係する水利施設の維持管理、水の配分管理をいい、水利団体における水管理とは、幹線レベルの水利施設あるいは水質等の維持管理、操作管理をいう。組織管理とは、水利団体の人事、財務、組織管理をいう。このうち、②と③の水利施設の管理・運用にかかわる活動を狭義の水管理と呼ぶことができる。

従来の農業水利施設における水管理は、その長い歴史と、さまざまな工夫に裏づけられた経験に基づいた方式により、かなり合理的に行われてきた。これに対し、昭和40年代後半から農業用水を取巻く環境が大きく変化し、各地で水配分がうまくいかないなどの問題が表面化してきた。その原因として、営農の多様化と機械化、兼業農家の増大、都市化による集約農業の進展に起因した水需要の変動および計画とのずれ、水管理組織の弱体化などがあげられる。一方、「限りある水資源」という言葉が使われるように水資源の逼迫も表面化してきた。このような環境の中で需要と供給を結びつける水利施設系全般にわたる有効・適切な水管理のあり方が今日問われている。現場においては、効率的な水管理を行うために、1カ所で総合調整を行い一貫した管理を目指すための水管理システムの導入が行われることが多くなってきた。このような水管理システムは、用水管理システムと排水管理システムに大別され、次のように定義される。

用水系における水管理システムは変動の多い水需要に対し合理的な水配分、水の有効利用、水利施設機能の保全を図りつつ水供給との整合を保つための情報検出、収集、処理および制御を行う施設系である。

一方排水系においては降雨や圃場、排水路の流況を示す情報に基づいて排水施設系を操作することにより効率的な排水を行うことができる。これに必要な情報を検出、収集、分析してゲートやポンプの制御を指令、実行する施設系が排水管理システムである。

2. 水管理システムの構成 水管理システムの装置・施設系の構成には種々のレベルがあるが、比較的高級な事例としては次のような構成がある。まず、水管理を行うための基本となるデータを収集する情報収集装置。これには雨量計、水位計、流量計、開度計および圧力計などが含まれる。これらにより収集した生のデータを水管理に必要な情報にするための演算、制御表示、記録および警報等の処理を行う装置としての情報処理装置。これは、中央処理装置と周辺装置から成るハードウェアとそれに必要なソフトウェアとで構成される。情報収集装置と情報処理装置を連結するのが通信装置であり、無線または有線によりネットワークで構成される。以上の機器構成により管理者は伝達された情報を確認することができることになり、この管理システム全体を遠方集中監視システムと呼ぶこともある。また、隔地の制御室において、人から各種機械への指令を伝達しゲート、バルブ、ポンプ等を操作する遠方制御システムもある。

以上は、水管理システムとして比較的高級な事例であるが、このほか全自動型から人の媒介が多くなるシステムまで、現場の条件に応じ、さまざまなレベルがある。レベルが高くなるほどシステムとしては重装備となり、維持管理を含めたコストが高くなることに注意する必要がある。

3. 水管理システムの計画・設計の要点 次に、水管理機構をシステム化するに当たって、とくに重要な項目とその流れを示すと、図-1のようになるであろう。次に、順を追って説明する。

(1) 水管理の目的の確立 まず、水量、労力、経費のいずれの節約が主なる目的かをはっきりさせることが大切であり、次に、どの地点での流量、水位、圧力などのどれを管理目的とするかを明確にすることが大切である。

(2) 水理現象のシミュレーション手法の確立 水利施設系内に発生する非定常水理現象をできるだけ正確に現わすシミュレーションモデルを開発する。この開発されたモデルであらかじめシミュレーションを行うことにより、平常時および非常時における水利施設系内の水理現象を正しく把握する。このためには、境界条件として、

どこのなにを情報として入手すればよいかが大切である。また、どのような水理現象が発生するのか、これに対して安全であるためには施設の制御をどのように行う必要があるかを、あらかじめよく認識しておく必要がある。

(3) 水利施設の性能・規模の決定 (2)のシミュレーションに基づいて、水利施設系の安定・安全を得るため必要な水利施設の性能・規模が決定される。水管理施設は、水利施設ができ上がってから考えればよいと思われがちであるが、計画当初から、管理状況を勘案しながら水利施設の設計・施工を行う必要がある。

(4) 情報の量・質の決定 情報はただやみくもに集めてみても、むしろ情報過多で取捨がつかなくなってしまう。情報は量とともに質を考えなければならない。そして、集められた生の情報を実際の水管理に必要な情報に処理・加工されなければならない。ここで、前述のモデルによるシミュレーションによって収集すべき情報の量と質が決まる。

(5) 検出計器の種類・数・配置・位置の決定 これまでの検討によって系内の水管理に必要な検出計器の種類・数・配置および位置が定められる。

(6) 情報の伝達機構の決定 検出した情報をどこへ、どのような方法で伝達したらよいのかが検討される。

(7) 水利施設の制御機構の決定 指令情報に基づいて水利施設を操作する機構が検討される。たとえば、油圧によるものか、モーターによるものか、非常時の対応策などが吟味される。

(8) 総合シミュレーション ここで、水利施設の制御機構を含めた水利施設系全体をモデル化し、水管理シミュレーションを行う。そして、制御機構が的確に作動し、水利施設の機能が予期したとおり発揮されているかを、総合的に検討する。場合によっては③へフィードバックして再検討が必要となる。

(9) 水管理システム完成 このような検討を経て、いよいよ中央管理センターを設けるのか、あるいはそこにどのような機器を設けるのかなどのハードな部分の構成を検討する。

さて、水利施設系の水管理を効率よく行うためには、現在の水路系の流況をできるだけ正確に知り、さらに今後どのように流況が変化するかを推測することが最も大切なことは、これまで述べてきたとおりである。すなわち、現状の流況把握と、今後の流況変化を的確に推定して、ポンプ、水門などの水管理施設を有効に操作可能にすることが水管理システムに求められる必須条件である。

参 考 文 献

- 1) 岡部 守：農業水利施設の管理主体と組織，水と土，第57号（1984）
- 2) 白石・岩崎，伊藤：幹線開水路系における用水管理形態とその機能解析，農土誌報告，第15号（1977，3）
- 3) 農業土木学会：改訂3版 農業土木標準用語事典（1983）
- 4) 緒形博之編：水と日本農業，東大出版会（1979）

（白石 英彦）

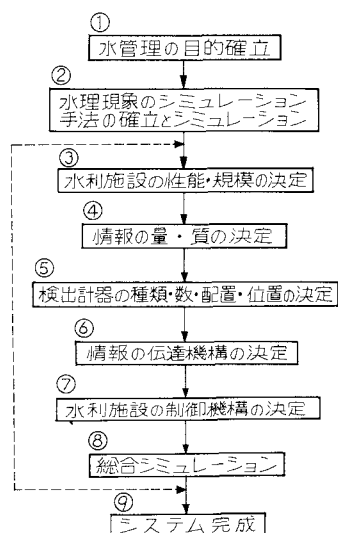


図 1 システム化の流れ図

7. 農業水利事業および制度

(agricultural water use project and the administration systems)

1. 農業水利事業の歴史

(1) 有史以来 わが国の農業は有史以来稲作農業中心であった。しかも、その栽培方法は湛水農法であったため、農業と農業用水は常に一体不可分のものとされ、農業の歴史がまさに農業水利の歴史となっている。

稲作が日本に伝わったのは、古く縄文時代後期と言われている。以来、室町時代末期までは、土木技術的に未熟なことや人口増加もさほど多くないこともあって、水田農業にとって地形的にも水利的にも適した河川中下流域を中心に開発が行われ、農地面積は約100万 ha 程度であった。また、これに伴う農業水利事業もあまり大規模なものではなく、近畿、中国四国を中心にして、溜池の建設や小規模な取水施設の設置にとどまっていた。戦国時代から江戸時代に入ると、各地方領主等の富国強兵策として力を注いだことや、治水技術・農業土木技術が進歩したことから、大規模な灌漑開墾が行われ、河川下流部の沖積平野に大水田地帯を作り上げていった。

この時代の代表的な例としては、利根川下流域における開発がある。東京湾に流入していた利根川の流れを、直接太平洋に導水する瀬替え工事により広大な利根川下流沖積平野を開発可能とし、見沼代用水や葛西用水のような大用水路の建設により、広大な水田地帯としたものである。これらは、近世前期の治水技術、農業土木技術の結晶と目されている。

諸大名が新田開発に力を入れたことにより、農地面積は飛躍的に拡大し、室町時代の約3倍にあたる300万 ha に広がった。また、これらの農地に対する用水対策も盛んに行われ、全国各地域で新しい用水が開削され、大河川下流域の沖積平野が大水田地帯へと変貌し、現代へもつながる農業用水路システムが形成されていった。

江戸時代の後期には、開発可能地が少なくなってきたことなどから、高度な技術が必要となるにもかかわらず、新田開発の主力は、河川の最下流部にあたるデルタ地帯の開発や、湖沼、海面の埋立て・干拓に移っていった。西日本では、主として海面干拓が、東日本ではデルタ地帯や潟、湖沼に新田開発が行われ、排水対策にも種々の工夫がなされていった。

このようにして、江戸時代末期には、ほぼ現在の耕地形態の基盤が造りあげられ、農地面積も水田260万 ha、畑180万 ha 程度にまで広がるとともに、農業水利組織や水利慣行もほぼ整理され、定着するに至った。

(2) 明治以降 明治維新によって、わが国は封建制から脱皮し近代的国家へと生まれ変わったが、ひきつづき農業は国の基礎として重要視され、農地の改良や開墾事業が積極的に実施された。初期においては、失業士族の授産を目的とした緊急開墾事業として、その後は、地主層を中心とした民間事業の形での大規模灌漑事業として、多数の事業が行われた。

これらの動きにつれて、法制度も徐々に整備されていった。一つは、耕地整理法（明治32年）が制定されたことで、明治政府の課題であった食糧増産と新稲作技術導入に必要な区画整理が、3分の2の同意で実施できるようになった。もう一つは、河川事業や河川管理およびすでに慣行として定着していた水利権の制度化を目的として、河川法（明治29年）が制定されたことである。これらにより、農業水利事業に対する国家の関与の方向づけおよび水利権に対する法律上の位置づけがなされることとなった。

耕地整理法は数次の改正を経て、当初の区画整理中心から灌漑排水事業中心のものへと変更されるとともに、国の助成も加えられることになった。これにより事業化の要望も高まり、本格的な耕地整理事業が盛んに実施され、わが国の農地開発改良史上において特筆される開墾・開田時代となった。この結果、農地面積も、約500万 ha へと大幅に拡大されていった。しかし、国による本格的な介入が行われるようになったのは、第一次世界大戦後の不況に起因する米騒動や小作争議を背景に農業政策の転換が求められるようになってからである。

具体的には、大正12年に「用排水改良事業補助要綱」を定め、用排水施設の改良事業に対し、事業費の1/2が国庫補助されることとなったことがあげられる。しかしながら、第二次世界大戦へと向かう世情の中にあっては、農業水利事業の大きな展開を促すには至らなかった。

(3) 第二次世界大戦後 終戦により、わが国は民主国家に生まれ変わり、農村においては農地改革が行われ、

新たに自作農が創設された。これを受けて、土地所有者である地主ではなく、自作農を中心とする耕作農民を主体として事業を実施することを規定した土地改良法（昭和24年）が制定された。これによって、政府が大段的に土地改良事業に進出することとなり、農業水利事業も大きく展開することとなった。

戦後20年代は食糧とくに米の不足が甚だしかったこともあって、食糧増産対策を大義名文とした開田と、それに伴う水源手当および既存水田の水利安定を中心に事業が行われ、大規模なダム開発や既存用水の合口などが計画、実施された。しかし、30年代後半に入り、

米の需給もほぼ均衡の見通しがつくに伴い、農政の基本はこれまでの食糧増産対策から国民の需要動向に合わせた農産物の選択的拡大と農地および農家経営の改善による生産性の向上を目指すことへと変換されていった。

農業水利事業もこれを受け、これまでのように食糧増産のために必要な農業用水を供給するという画一的な目的から、農業における水利用の合理化および従来まではあまり事業の対象とはならなかった畑地に対する用水確保等の多面的な目的へと変化し、積極的に展開されることとなった。

その後、各土地改良事業の上位計画として、昭和41年には「土地改良長期計画」が策定され、計画性のある事業が進められることとなり、現在は「第三次土地改良長期計画」に基づいて多くの事業が実施されている。

2. 農業水利事業の現状

（1）農業用水の取水実態 わが国の灌漑の実施状況は、施設のごく小規模なものに対する推計も含め施設数で約50万カ所、灌漑面積では330万 ha にも及んでおり、全農地面積約570万 ha の約60%に対し、用水の手当てがなされている。これを取水源別に灌漑面積で比較すると、河川を水源とするものが75%を占めており、次いで溜池を水源とするものが9%、地下水等のその他の水源は1%となっており、小規模施設の多くが河川からの取水と想定されることから、全体的にみれば、河川からの取水が圧倒的に多くなっている。

取水量規模別に分類してみると、最大取水量で $1.0\text{m}^3/\text{s}$ 以上取水する施設数は2.1%と少ないものの、灌漑面積では約50%を占めており、とくに $10\text{m}^3/\text{s}$ 以上取水する大規模灌漑施設も128施設に及び、灌漑施設の整理統合が進んでいることが伺われる。これらの農業水利資産の蓄積は膨大なものであり、昭和46年度に構造改善局の行った調査の推計によれば、20ha以上の受益面積を有する水路および主要構造物の再建設費は、昭和50年度価格で5兆6,000億円にのぼると見込まれている。

（2）農業水利施設の整備状況 しかしながら、水量、水質も含めた施設の整備水準をみると、営農に支障のない水準まで整っている割合はまだ低く、地域別にもかなりの格差が見受けられる。

水田についてみると、用排水施設が、近代的な農業に不可欠な条件である水を、営農に合わせて自由にコントロールできる水準にまで整備されているものは、全国で約30%にしかすぎない。地域別には、水源に恵まれた東北、関東、北陸の整備が進んでおり、近畿、中国四国、九州では、自然条件もあって遅れが目立っている。

また、用排水別にみると、用水の整備については全国平均で約40%であるが、排水については、汎用耕地として利用できる水準まで整備されているものは35%にとどまっている。さらに、畑地に対する灌漑施設の整備は、全国で約10万 ha にしかすぎず、全畑地面積に対し約4%程度である。地域的にも、愛知、豊川の二大用水事業の受益地がある東海地域の整備率が高くなっている。

畑地灌漑は、畑作農業の近代化を図る上で不可欠な事業として、近年その要望も強くなっており、今後の農業水利事業が取り組む重要な課題となっている。

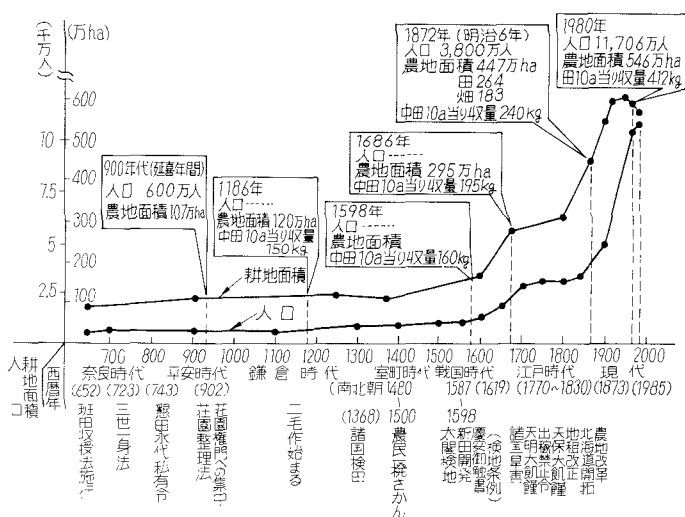


図-1 農地面積の歴史的推移（資料：国土庁計画・調整局）

表-1 農業用水の取水源

項 目		農 業 用 水 施 設						小規模施設	計
		河 川	溜 池	地下水	湧 水	集水暗渠	小 計		
施 設 数	千カ所	104.6	16.1	2.7	0.4	0.03	123.8	377.9	501.8
	%	20.9	3.2	0.5	0.1	0.0	24.7	75.3	100.0
灌漑面積	千ha	2,499	293	32.0	12	2	2,838	486	3,324
	%	75.2	8.8	1.0	0.4	0.0	85.4	14.6	100.0

資料：農林水産省構造改善局「農業用水実態調査」(1977)

(注) ・農業用水施設：河川から取水する施設は受益面積1ha以上のもの。

その他水源から取水する施設は、受益面積10ha以上のもの。

・小規模施設：上記未満の受益面積のもので、抽出調査により全体を推計した。

表-2 取水量規模別施設数、灌漑面積

項 目		0.3m ³ /s未満	0.3～ 1.0m ³ /s未満	1.0～ 5.0m ³ /s未満	5.0～ 10.0m ³ /s未満	10.0m ³ /s以上	計
施 設 数	千カ所	114,320	6,925	2,197	274	128	123,844
	%	92.3	5.6	1.8	0.2	0.1	100.0
灌漑面積	千ha	1,033	441	568	305	491	2,838
	%	36.4	15.5	20.0	10.8	17.3	100.0

資料：「農業用水実態調査」(前述)

((注) ・小規模施設は含まない。

業のように他の法令を根拠にしているものもある。しかし、水資源開発公団事業も農業水利事業に関しては、土地改良事業に準拠して実施することとされていることから、現在の農業水利事業は、ほぼ土地改良事業として実施されているといえる。

土地改良事業の目的は、土地改良法第1条に、「農業生産の基盤の整備及び開発を図り、もって農業生産性の向上、農業生産の増大、農業生産の選択的拡大及び農業構造の改善に資すること」と定められており、端的に言えば農業生産要素、とくに土地と労働の生産性を向上させることである。

したがって、現実に農業生産に携わる農家の私的経済的側面からとらえれば、土地改良事業の目的は、生産性の向上を通じた農家所得の増加ということになる。

一方、国として国民経済的側面からとらえてみると、農業は人間の生存に欠くことのできない食糧を生産し、農業生産活動を通じて国土や自然環境を保全するという役割を担う非常に重要な産業であり、土地改良事業は、その農業生産に必要な農地や農業用水を確保・整備し、これらの適正な利用に貢献する事業といえる。このことが、土地改良事業が予算上も公共事業として位置づけられているゆえである。農業水利事業は、土地改良事業の中でも重要な地位を占め、土地改良法第2条第2項第1号に「農業用排水施設の新設、管理、廃止又は変更」の事業として規定されている。

(2) 農業水利事業の種類 農業水利施設は、ダム、頭首工等の水源施設から、圃場の水口、さらに排水路へと一連の体系をなすものであるが、施設の性格が、基幹の部分から末端へゆくに従い、公共性の強いものから個々

3. 農業水利事業の制度

(1) 農業水利事業の根

拠法令 莫大な投資を必要とする農業水利事業は、事業が公的性格をもっていること、また、農業者のみではその負担が非常に困難であることから、国や県による公的補助が法令で定められている。

現在、実施中の農業水利事業の大部分は、土地改良法によって定められた土地改良事業として実施されているが、水資源開発公団事

表 3 水田用排水施設の地域別整備状況 (単位: 千ha, %)

区分 地域	総面積	用排水とも整備		用水のみ整備		排水のみ整備	
		面積	整備率	面積	整備率	面積	整備率
北海道	277	77	27.8	32	11.6	8	2.9
東北	681	260	38.2	108	15.9	24	3.5
関東	549	215	39.2	45	8.2	24	4.4
北陸	347	177	51.0	27	7.8	11	3.2
東海	176	52	29.5	13	7.4	15	8.5
近畿	220	33	15.0	23	10.5	4	1.8
中四国	377	44	11.7	41	10.9	13	3.4
九州	394	71	18.0	49	12.4	13	3.2
沖縄	2	—	—	—	—	—	—
計	3,023	929	30.7	338	11.2	112	3.7

資料：農林水産省構造改善局「土地利用基盤整備基本調査」(1976)

表-4 畑地灌漑の地域別整備状況 (単位: 千ha, %)

地域区分	畑			樹 園 地			計		
	総面積	畑地施設整備	整備率	総面積	畑地施設整備	整備率	総面積	畑地施設整備	整備率
北海道	772	3	0.4	5	—	—	777	3	0.4
東北	218	3	1.4	90	3	3.3	308	6	1.9
関東	312	18	5.8	178	15	8.4	490	33	6.7
北陸	34	3	8.8	10	2	20.0	44	5	11.4
東海	45	12	26.7	27	5	18.5	72	17	23.6
近畿	22	1	4.5	43	5	11.6	65	6	9.2
中四国	88	4	4.5	107	3	2.8	195	7	3.6
九州	207	12	5.8	136	14	10.3	343	26	7.6
沖縄	35	1	2.9	5	—	—	40	1	2.5
計	1,733	57	3.3	601	47	7.8	2,334	104	4.5

資料：農林水産省構造改善局「土地利用基盤整備基本調査」(1976)

の農家の私的経済に係わるものへと変化してゆくことを勘案し、国の関与の度合もそれに応じた形をとっている。具体的には、施設が支配する受益の範囲の大小により事業の実施主体を区分するとともに、事業費に対する国の補助率も変化させている。

事業主体による区分

国 営 事 業： 大規模事業で国が自ら行うもの（例：内地国営灌排3,000ha 以上）

都道府県営事業： 国営事業ほどの受益規模はないが、まだかなりの規模を有するもの（例：内地都府県営灌排200ha 以上）

団 体 営 事 業： 受益規模の小さなもので、各種の団体が行うもの（例：内地団体営灌排20ha 以上）

※ 各種団体とは、土地改良区、市町村、農協等

水資源開発公団事業： 水資源の総合的な開発を図るため、水資源開発水系として指定された水系において水資源開発基本計画に定められた事業

（３）農業水利事業の実施手続 土地改良事業は、原則として、事業の受益地において利益を有する農業者の意志に基づき実施され、かつ、その者が受益の程度に応じて事業に要する費用を負担することとなっている。

このことから、土地改良事業手続の特徴の一つは、事業の開始に当たり、農業者自らの発意により一定地域を定め、計画を立てた上で、その事業地域内の土地に資格を有する者の同意を得て申請する、という申請主義をとっていることである。また、この同意は、事業が広い地域で実施され、受益者も多数に及ぶことから、受益者の大多数が賛成すれば、反対者も含めて事業を強制できることとされ、3分の2以上の同意が必要と定められている。

もう一つの特徴は、事業の参加資格者を、実際にその土地を耕作している者と規定していることであり、実際の耕作者が農地の所有者でない場合も含め、事業参加資格を土地改良法第3条に定めている。

土地改良事業計画は、団体営事業にあっては、申請者自らが、国営および都道府県営事業にあっては、申請を受けた事業主体が樹立し、土地改良法に定められた法手続を経て決定される。この計画が決定されてはじめて実際に事業が開始されることとなる。

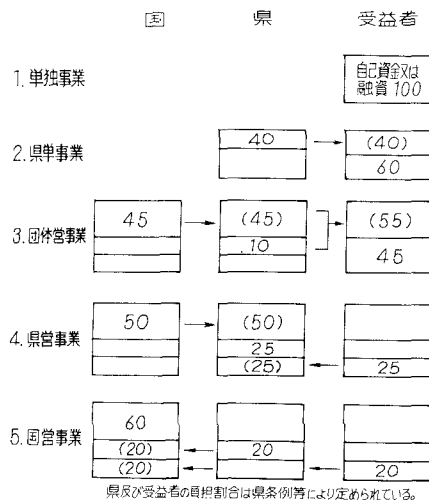
（４）農業水利事業と土地改良長期計画 過去に長い歴史をもつ農業水利事業は、現在ではほぼ土地改良事業として実施されているが、土地改良事業は、多額な国家投資を必要とすることから、その実施は、国の施策の方向に沿い、政策目標の実現に資するように行われることが必要である。この目的達成のためには、事業が、この目標に沿い、計画的かつ効率的に実施されることが必要であるので、土地改良事業の基本となる計画として、土地改良長期計画が策定されている。

土地改良長期計画は、農業基盤整備の基本的方向を示す基本計画的側面と、これに必要な所要資金を示す投資計画としての側面を有している。

昭和67年度を目標とする第三次土地改良長期計画では、農地整備率70%、計画事業費32兆8,000億円を目標としており、農業水利事業は、基幹灌排として位置づけられ、5兆7,800億円の事業費が必要とされている。

参 考 文 献

- 1) 今村奈良臣ほか：土地改良百年史，平凡社（1979）
- 2) 農林水産省構造改善局建設部：土地改良の全容，公共事業通信社（1982）
- 3) 農業水利研究会：日本の農業用水，地球社（1980）
- 4) 農林水産省構造改善局計画部：土地改良事業計画作成便覧，地球社（1985）（谷山 重孝）



（注）県および受益者の負担割合は県条例等により定められている。

図-2 負担の仕組（内地灌漑排水事業の一般例）

第1章 水 資 源

主査 丸山 利輔 志村 博康

執 筆 者

石野 捷治 (農業土木試験場水工部)
宇賀田 浩 (東京建物㈱)
岡本 雅美 (岩手大学農学部)
河地 利彦 (京都大学農学部)
川尻裕一郎 (農業土木試験場企画連絡室)
木本 凱夫 (三重大学農学部)
木村 重彦 (農業土木試験場水利部)
吉良 八郎 (東京農業大学農学部)

小林慎太郎 (京都大学農学部)
千賀裕太郎 (宇都宮大学農学部)
保積 修 (農林水産省構造改善局開発課)
水畑 光男 (農林水産省構造改善局地域計画課)
丸山 民夫 (財日本ダム協会)
水谷 正一 (三重大学農学部)
南 勲 (京都大学農学部)

1.1 長期流出モデル (long-term runoff model)

1. 定義 ある流域の降雨、蒸発等の入力データを与えて、河川流量を長期にわたって推定ないし予測するモデルを長期流出モデルといい、利水計画に際して重要な情報を提供する。

わが国では農業用水の需要の多い7～8月にしばしば渇水にみまわれ、他種利水との競合が生じ、この時期の河川流出量を正確に予測することは、利水システムの操作・管理を円滑に進める上でも、各種利水間の調整を行う上でも重要である。また、貯水池や溜池の貯水は非灌漑期の河川流出水に依存するが、このような貯水施設の計画には非灌漑期間あるいは1年間という比較的長期間の河川流況を把握する必要がある。これの検討対象となるのが河川の長期流出（現象）である。なお、渇水期の流出量に着目する場合には低水流出ともいい、降雨直後の河川の流出現象が対象となる短期流出あるいは洪（高）水流出に対比される。

2. 解説 河川流出水の源は、流域内の雨や雪などの降水である。流域に降水があると、降雨遮断、浸透、貯留などの諸過程を経て最終的に河川へ流出するが、すべての降水が河川へ現れるのではなく、その一部は流域からの蒸発散により失われる。河川流出水は、降雨後、地表近傍を速やかに河川に流出する直接流出成分と、浸透・貯留過程を経て長期にわたってゆっくり河川に流出する基底流出（地下水流出）成分とに大別される（短期流出解析では、おもに前者の直接流出成分が解析の対象である）。長期流出解析では、通常、直接流出と基底流出を合わせた全流出が解析され、流域全体の貯留・滞滞・損失効果をいかにモデルに組込むかが鍵となる。

長期流出モデルとして、わが国で実用に供されてきているものには、タンクモデル、統計的単位図法、重回帰モデル、補給能モデルなどがあり、いずれも一長一短があるので、目的に応じて使い分けることが重要である。

（1）タンクモデル 長期流出解析に用いられるタンクモデルは図-1に示す直列4段型の菅原のタンクモデル^{1,2)}と呼ばれるものである。

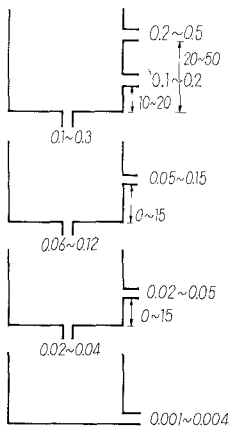


図-1 菅原のタンクモデル⁶⁾

タンクモデルの基本的考え方は、1段目のタンクに投入された雨が、タンク下の浸透孔から順次下方のタンクへ伝わる過程において、各タンクの水深に比例してタンク横の流出孔からの流出量が定まり、その総和が河川流出量となるというものである。流域に降った雨が浸透・流出する過程が、4段のタンクの浸透・流出現象にアナロジーされている。

タンクモデルでは、パラメータの同定が難しい。菅原の4段直列タンクモデルでは、各タンクの初期貯留高を含めると、合計16個ものパラメータがあり、その同定にはかなりの熟練を要することが最大の難点であった。これに対し、近年、モデルパラメータの最適化^{3,4,5)}や自動化²⁾についての研究が進み、容易にパラメータを決定できるようになった。わが国の主要河川で得られたタンクモデル定数は、図-1に表した数字の範囲にあり⁶⁾、タンクモデルの初期値設定などの参考となる。

（2）統計的単位図法 低水流出の大きな特徴は、降雨～流出関係の線形性が強いことにある。このような線形系の解析の有力な手段の一つに Wiener が導いた予測理論を利用した方法がある。低水流出に寄与する有効降雨 $r(t)$ をモデルへの入力とし、全流出から表面流出などの非線形流出成分を取除いた線形流出成分 $q(t)$ を出力とする系において、両者の関係を次のように単位インパルス応答 $h(\tau)$ を用いて表す。

$$q(t) = \int_0^{\infty} h(\tau) \cdot r(t-\tau) d\tau \quad \cdots \cdots \cdots (1)$$

$h(\tau)$ は単位降雨を入力とした場合の出力に相当し、統計的単位図と呼ばれている。

統計的単位図は、図-2に示すように季節ごとに大きく異なるが、降雨～流出関係が定常であるとして各年度の統計的単位図を求めると、その年次変動は少ないことが確かめられている。

（3）重回帰モデル^{11~13,15)} 流量系列 $q(t)$ を雨量系列 $r(t)$ を用いて次のような関数で表すモデルをいう。

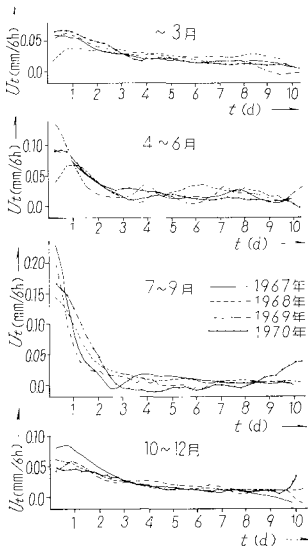


図-2 季節別統計的単位図
(上賀茂試験地)¹⁰⁾

$$q(t) = \{a_0 + \sum_{j=1}^n a_j \cdot r(t - \tau_j)\} + \left\{ \sum_{i=2}^m b_i \cdot r(t - \tau_i) \cdot r(t - \tau_j) \right\} + \varepsilon(t) \quad (2)$$

$\varepsilon(t)$ は重回帰モデルで表せない残差項である。

(2) 式の重回帰モデルでは、第1項が線形項で中間流出および地下水流出を、また第2項は非線形項で表面流出を表すものと考えることができる。重回帰モデルでは目的変量と説明変量との関係は線形であるが、説明変量として(2)式の右辺第2項のように降雨の2次項を導入することによって、降雨と流出の非線形関係を表すことができる。

(2) 式のようなボルテラ級数による降雨～流出系の表現は、わが国では非線形システムモデルとして四ヶ所¹⁴⁾によって提示されたのが最初である。このモデルでは線形項、非線形項が同時に同定されるが、係数が負値をとったり、単位図が滑らかとならないケースがあることが欠点であった。白石らの重回帰モデル^{12,13,15)}では、線形項と非線形項を2段階で求めることにより、この点に改良が加えられている。

(4) 補給能モデル^{16,17)} 角屋らによって提示されたこのモデルは長期間の地下水流出現象の優れた解析手法である。このモデルの特徴は、降雨 r があったときに、地下水流出に寄与する降雨成分 r' は、そのときの土湿状態から定まる土壤水分補給能 f に依存するという点である。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} r' &= r - f & r > f \\ r' &= r & r \leq f \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

この補給能 f は、表層土壌の含水比 ω と逆比例し、下層への一定の水分補給 f_c を仮定して強度の大きい降雨が長時間継続した場合を考えると、よく知られたホートンの浸透能式と同等の式が導かれる。

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-bt} \quad (4)$$

f_0 : 初期補給能, f_c : 最終補給能, t : 降雨開始後の時間, b : 定数

地下水流出は、下層飽和帯を1つの線形貯水池モデルで表して解析される。下層飽和帯への補給水(f_c)は、表層の土壤水分が圃場容量になるまではゼロで、それ以上になったときに一定値 f_c となるとすると、

$$\left. \begin{aligned} f_c &= 0 & t \leq t_0, t \geq t_f \\ f_c &= \frac{1}{3.6} f_c \cdot A & t_0 < t < t_f \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

t_0 : 降雨により、土壤水分が増加して圃場容量となる時間, t_f : その後、

土壤水分が減少して圃場容量になる時間, A : 流域面積。

これにより、飽和帯からの地下水流出量 $q(t)$ は(6)式で与えられる。

$$q(t) = f_c \{1 - e^{-M(t-t_0)}\} + q_0 e^{-Mt} \quad (6)$$

q_0 : $t=0$ における地下水流出量, M : 地下水流出の遅減係数

(6) 式右辺第1項において、 $t=t_f$ とした値が、その降雨に起因する地下水流出量の最大値(Δq)である。降雨停止後、蒸発散および下層飽和帯への補給を通じて土壤水分が減少するにつれ、図-3のように補給能は回復していく。このように、表層土壌の補給能を逐次計算していくことにより、長期間の地下水流出量の解析が行われる。

(5) その他のモデル 長期流出モデルとして実用に供されてきているものには、ここに提示したもの以外にも多数のものがある。たとえば、わが国で洪水流出モデルとして広く用いられている木村の貯留関数法¹⁸⁾も低水流出に適用できるし、外国の例としては、米国のスタンフォード・モデルIV (Stanford Watershed Model IV)¹⁹⁾やヨーロッパのSHE (Système Hydrologique

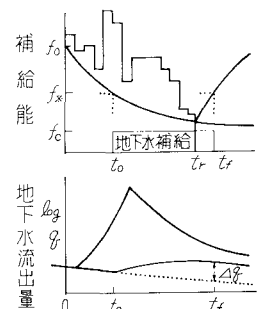


図-3 補給能変化と地下水流出量¹⁷⁾

European) モデル²¹⁾がその代表といえる。スタンフォード・モデルIVについては、わが国の河川流域についても適用が試みられ、その有用性が確かめられている²⁰⁾。

3. 計 算 法

(1) **タンクモデル** タンクモデルによる流出計算は非常に簡単で、流出孔および浸透孔からの流出量はそれぞれの孔の高さを越える水深に比例すると仮定して、この仮定から導かれる貯留方程式と、水収支関係を表す連続方程式を連立させ、前方差分で展開して解いていく。計算は、通常、日単位で行われ、流出量はすべて日流出高 (mm/d) で表示される。

たとえば、図-4 に示す第1段目のタンクでは、上の流出孔からの流出高 q_1 は、タンクの水深 (15mm) が流出孔の高さ (30mm) より小さいのでゼロである。下の流出孔からの流出高 q_2 は、流出孔を越える水深が $15-10=5$ mm であるので、比例定数0.15を乗じて $q_2=0.15 \times (15-10)=0.75$ mm/d となる。同時に、浸透孔からの流出量 q_3 は、 $q_3=0.2 \times 15=3.0$ mm/d と計算される。降雨は1段目タンクのみに投入され、2段目タンクからは上のタンクの浸透孔からの流出分が投入される。そして、すべてのタンクからの計算が終れば、その日に対する河川流出高が各タンクの流出孔からの流出高の合計で計算される。蒸発散は負の降雨と考えて、その日の蒸発散高を1段目タンクから差引く。蒸発散の取扱いの外、積雪・融雪・降雨の高度補正などの考え方は菅原の原著¹⁾に詳しく記されている。

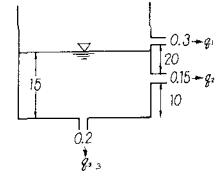


図-4 最上段タンクの計算例

(2) **統計的単位図法** 統計的単位図 $h(t)$ は、計算流量 $q'(t)$ と実測流量 $q(t)$ との平均2乗誤差 $(\bar{\varepsilon}^2(t) = \overline{\{q(t) - q'(t)\}^2})$ が最小となるように次の離散型の Wiener-Hopf 積分方程式を解くことによって求められる⁷⁾。

$$\Phi_{rq}(\tau) = \sum_{k=0}^n h(k) \cdot \Phi_{rr}(\tau - k) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\Phi_{rr}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N r(t) \cdot r(t + \tau); \quad \Phi_{rq}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N r(t) \cdot q(t + \tau)$$

N : データ数, n : 降水が流出に影響を及ぼす日数。

このような一般的な統計的単位図に対して、丸山らは、単なる平均2乗誤差の最小化では流量の大きい部分での適合性は良いが、目的とする低水部分での誤差が大きくなることから、次の重みつき平均2乗誤差を最小とするようにして、(7) 式における $h(k)$ を求めるのがよいと提案している^{8,9)}。

$$\bar{\varepsilon}^2(t) = \overline{q^{-\alpha}(t) \cdot \{q(t) - q'(t)\}^2} \quad (\alpha: \text{重み } (0.5 \sim 1.0)) \quad \dots\dots\dots (8)$$

(7) 式の解あるいは(8)式の最小解は、 $h(k)$ に関する連立一次方程式を解いて得られる。

統計的単位図法は、入・出力の線形関係が前提であるから、通常は、出力には線形性の強い低水流出成分、入力にはそれに寄与する有効降雨を採る。そして、それぞれを元の流出量、降雨データから変換するのにも種々の工夫が凝らされる。たとえば、高棹ら⁷⁾、丸山ら⁹⁾は、それぞれ流域の土湿を考慮した独自のモデルによって有効降雨を推定している。また、線形化流量としては、高棹らは中間流を採り、全流出から分離する方法を提示し、一方、丸山らは原流量系列に対して適当なハイカットフィルタを通すことによって、線形化流量を求めている。

(3) **重回帰モデル** (2) 式の重回帰モデルにおいて、 $a_j (j=0, 1, \dots, n)$, $b_{ij} (i=0, 1, \dots, m; j=0, 1, \dots, m; \text{ただし } i \leq j)$ は偏回帰係数と呼ばれ、 $\bar{\varepsilon}^2(t)$ の最小化を図ることによって決められる。この場合、すべての偏回帰係数を一度に決めることも可能であるが、ひずみのない合理的な係数を得るには、次のように2段階の手順で a_j , b_{ij} を求めるとよい。

まず、最初に線形流出成分のみを(2)式の第1項で表す。このとき係数 a_j は線形流出成分の単位図に相当するものであるから、これを正しく求めるには非線形性の強いデータを取除いておく必要がある。この方法として考えられたのは、ある一定以上の雨量データを取除く方法と、ある一定以上の流量データを取除く方法の2つである。前者の臨界値は FMR (Fixed Maximum Rainfall)、後者の臨界値は FMD (Fixed Maximum Discharge) と定義されている。一般には、有効となるデータ数が多くなることから、FMD を採るのが有利である。したがって、通常は FMD 以上の流量データを除いて、最小2乗法により線形項の偏回帰係数が求められる。FMD の値としては20~30mm/d が採られるが、(9) 式で表される $R_{\log}$ (重回帰モデルによる推定流量 $q'(t)$ の対数値と実測

流量 $q(t)$ の対数値の相関係数) を最大とする FMD を何回かの試算によって求めるのがよい。

$$R_{\log} = \frac{\sum_{t=1}^N \left(\log q(t) - \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \log q(t) \right) \left(\log q'(t) - \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \log q'(t) \right)}{\sqrt{\sum_{t=1}^N \left(\log q(t) - \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \log q(t) \right)^2} \sqrt{\sum_{t=1}^N \left(\log q'(t) - \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \log q'(t) \right)^2}} \dots\dots\dots (9)$$

線形項の数 n は、項を逐次増やしていったときに、重相関係数が減少し始めるか、あるいは a_0 ないし a_n がゼロになるときの項数とする。

次に、非線形流出成分の偏回帰係数の同定は、原流量系列から、先に求められた重回帰モデルによる線形流出成分を差引いた残差流量系列に対して行う。(2) 式の第 2 項において $m \leq 5$ 程度の範囲内で、重相関係数が最大となる項数とそのときの偏回帰係数を求めればよい。

なお、非線形モデルの偏回帰係数の同定には、降雨の 2 次項として、原降雨系列をそのまま用いるのではなく、FMR 以下の降雨はゼロとし、FMR 以上の降雨に対してだけ $r'(t) = r(t) - \text{FMR}$ として、 $r'(t)$ により 2 次項を構成して解析する方法が有効である¹⁵⁾。

(4) 補給能モデル 補給能モデルにより地下水流出の解析を進めるには、 M, f_c, f_u, b の外、圃場容量量に対応する補給能 f_* 、蒸発パラメータ C の計 6 個のモデル定数を定めなくてはならない。これらの算定には精度の高い降雨～流出記録の入手が前提となり、その方法については、参考文献¹⁷⁾に詳しい。以上のパラメータが求まったならば、降雨および蒸発データから補給能を逐次計算していき、補給能が減少して f_* となる時間 t_0 とその後再び上昇して f_* となる時間 t_f を求め、(6) 式を用いて地下水流出量を算定していく。このとき、(4) 式は常に降雨が補給能を上回るとして誘導されたものであるから、補給能を追跡していく過程で $r < f$ となる場合には、その時間までの総補給量を F としたときに、 $F = \int_0^{t*} f \cdot dt$ となる t_* に (4) 式の t を補正しなくてはならない点に注意を要する。なお、(6) 式では地下水流出の逓減係数 M を一定としているが、流域によっては地下水流出の逓減部が 2 本の直線で近似されることがあり、その場合にはある基準流量を境として、2 つの逓減係数 M_1, M_2 を用いて解析すればよい。

引用文献

- 菅原正巳：流出解析法，共立出版（1972）
- 菅原正巳：続・流出解析法，共立出版（1979）
- 小林慎太郎・丸山利輔：Powell の共役方向法によるタンクモデル定数の探索，農土論集65，pp.42～47（1976）
- 永井明博・角屋睦：タンクモデルの最適同定法に関する基礎的検討，京大防災研年報23，B-2，pp.239～247（1980）
- 永井明博・角屋睦：流出解析法（その12）—タンクモデルと SP 法による最適同定—，農土誌48(12)，pp.51～59（1980）
- 土木学会：水理公式集，p.164（1985）
- 高埤塚馬・池淵周一：長期間流出機構の情報理論的研究，京大防災研年報12，B-2，pp.273～293（1969）
- 丸山利輔・富士岡義一：重みつき最小二乗法による単位図法決定の基本的考え方とその方法，農土論集43，pp.33～38（1973）
- 丸山利輔・富士岡義一：重みつき最小二乗法による単位図法の試験流域への適用，農土論集43，pp.39～45（1973）
- 丸山利輔：流出解析法（その5）—重みつき統計的単位図法による低水流出解析—，農土誌48(3)，pp.41～46（1980）
- 白石英彦・大西亮一・伊藤喜一：重回帰式による非線形降雨流出の解析法，農土論集63，pp.43～49（1976）
- 伊藤喜一・白石英彦・大西亮一：重回帰モデルを用いた低水流出解析，農土試技報 B48，pp.27～68（1980）
- 伊藤喜一・角屋睦：流出解析法（その4）—重回帰モデルによる長期流出解析—，農土誌48(2)，pp.39～44（1980）
- 四ヶ所四男美・田中宏平・戸原義男：非線形システムモデルによる流出解析，農土論集50，pp.20～23（1974）
- 伊藤喜一・白石英彦・大西亮一：重回帰モデルを用いた非線形流出核の検討，農土試技報 B49，pp.33～58（1981）
- 角屋睦・豊国永次・辻達俊夫：山地小流域河川の低水解析(2)，京大防災研年報10B，pp.147～154（1967）
- 角屋睦：流出解析法（その9）—補給能モデルによる地下水流出解析—，農土誌48(9)，pp.53～59（1980）
- 水越三郎・野口正：貯留関数法を応用した低水流出量の計算，土木技術資料，Vol.8，No.6（1966）
- Crawford N.H. and Linsley R.K.：Digital simulation in Hydrology；Stanford Watershed Model IV，Technical Rep. No.39，Dept. of Civ. Eng.，Stanford Univ.（1966）
- 坂西研二・渋谷勤治郎・上村春美：山地流域の長期流出解析事例—Stanford Watershed Model IV の適用—，農土試技報 A26，pp.97～106（1982）
- Abbott M.B. ら：An Introduction to the European Hydrological System 1, 2, J. Hydrol., Vol.87，pp.45～77（1986）

（小林慎太郎）

1.2 開発水量と必要貯水容量 (developed water and required reservoir capacity)

1. 定義 開発水量が定められたときのダムの必要貯水容量の算出方法、必要貯水容量の決定にとって重要な利水安全度および計画基準年の決定方法について記述する。

開発水量は、取水形態および取水目的によってその意味が異なる。取水形態には、直接貯水池から取水する場合と貯水池下流部の河川から取水する場合とがあり、前者の場合は需要量がそのまま開発水量となるが、後者の場合は需要量から残流域流入量を差引いた値が開発水量となる。

取水目的には、都市用水（上工水）と農業用水がある。前者は、期別需要量の変動が小さく開発水量の期別変動などは小さいが、後者は、作物の生育に伴って期別の需要量が異なり、有効雨量をも加味した上で開発水量を算出しなければならない。このように、開発水量は、取水形態や取水目的による差こそあれ、需要量を満たすために貯水池などにより補給を受けて、新たに安定的に取水可能となる水量をいう。

開発水量をある利水安全度の下で過不足なく確保するために必要な貯水容量を必要貯水容量という。

2. 解 説

(1) 計画決定因子

1) 貯水容量計画の決定因子 必要貯水容量は、利水安全度、河川流量の変動性、開発水量の大きさの3つの因子に規定される。利水安全度とは、利水のための貯水容量が不足して渇水の起こらない確率のことをいう。わが国の水利計画では一般に90%が用いられているが、利水の安全度を高くとれば、必要貯水容量も大きくなる。流量変動のパターンの違いは、水源計画とくに貯水池の規模とその運用方法に相違をもたらす。

流量の日変動が卓越する河川流域での貯水池は比較的小規模で、貯水位の変動も日ないし週単位におこり、1年のうちに何度か満水となる。もちろん流入量や放流量の季節変動があるから、一般に毎年灌漑期直前に貯水量は満水状態になる。このようなダムは、単年貯留ダム (within-year storage reservoir) と呼ばれる。日本の従来

のダムは、この代表的なものである。一方、流量の季節変動やとくに年変動の大きい河川流域での貯水池は大規模なものとなり、貯水位の変動も季節ないし年単位におこり、満水状態は数年のうちに一度おこる程度となる。このようなダムは経年的に貯水の運用が行われるので、経年貯留ダム (carryover storage reservoir) と呼ばれ、貯水容量も年平均総流入量の2～3倍と大規模なものが多い。乾期、雨期の明確な東南アジアやアメリカ合衆国西部地方のダムは、この代表的なものである。もっとも、流量の日変動が卓越する河川流域でも、水資源開発が著しく進めば、各年度内に貯水位が完全回復しない年が現れ、経年貯留ダムと同程度の規模および同様の貯水運用が求められるようになる。

また、貯水池が単一の場合と複数の場合とで、開発水量～貯水容量関係の複雑さは異なってくる。水利システム全体として必要となる総貯水容量を、いかにして各ダムに分配するかという計画技術上の問題が加わるからである。このように貯水容量は水文学的要因を基礎にしながらも、実際には、ダムサイトの地形、地質による物理的制約条件や、移転補償等の社会的条件を総合的に勘案して計画決定されなければならない。

2) 必要なデータ 開発水量～貯水容量計画に必要なデータは、開発水量、河川流量、河川維持流量等であるが、これら流量データの時間間隔は、貯水池の規模および計画に要求される精度にかかわっている。

比較的小規模の貯水池で、年に1～2ヵ月程度の期間の渇水補給を行うために必要なデータは、日または半旬データであり、より大きな貯水池の場合では、流量の季節変動を補うのに必要なデータは、月データある。

一般に、計画は予備調査段階と実施計画段階とに分かれる。データ時間間隔は実施計画段階で要求される精度である。予備調査段階では、それぞれ、月データおよび年データが用いられることもある。

地域によっては適当な水文データが入手できない場合もある。とくに開発途上国などでの水資源開発計画に当っては、そうした事態が多い。降雨データから流量データを発生させたり、実施計画段階でより精度の高い計算を行うことが困難なこともある。リモートセンシングを含む別途技術の開発で補完していくことが必要である。

また、農業用水で貯水池下流部の頭首工から取水するような場合には、需要量から残流域流入量を差引いてダ

ム依存量を算出する。この場合、開発水量～貯水容量計画に必要なデータとしては、ダム計画地点への流入量、ダム依存量、河川維持流量等である。

(2) 開発水量と貯水容量の計画手法 開発水量と貯水容量の計画手法は、大きく三つに分類される(図-1参照)。

第1のグループは、“渇水期間法(critical period method)”と呼ばれるもので、開発水量が流入量を上回る期間の一連の流量データが、貯水容量の決定に用いられる。いずれも、過去に記録された最も厳しい渇水期間に対応可能な貯水容量を求める。

第2のグループは、モーラン法の展開手法である。すなわち、モーランは貯水池への流入量と放流量の関係から積分方程式を導いた。さらに時間や流量を不連続なものと考え、一連の同時方程式によって貯水容量と放流量、流入量の間係を表した。これをグルードらが一般の技術者向けに実用化している。

第3のグループは、統計的な手法を用いて流量データを発生させ、これを用いて貯水容量計画を行うものである。現在、世界の水資源開発で最もよく用いられているのは、実績流量データを用いたマスカープ法またはシミュレーション法である。

(3) 利水安全度

1) 渇水の定義と基準渇水 水利地区における渇水確率について考えよう。利水ダムの渇水を、次のように定義する。

状態 $\{V_r \geq V_p\}$ (1)

V_r : ある年において、下流の受益地に補給水量を不足することなく放流するのに必要な貯水容量

V_p : 10年渇水を基準として与えられた計画貯水容量

ここで、状態 $\{V_r < V_p\}$ は豊水年を含む平常時であり、状態 $\{V_r = V_p\}$ が10年渇水(計画渇水)、状態 $\{V_r > V_p\}$ が異常渇水である。

一般の水利計画における渇水の定義は他にも考えられるが、貯水容量決定のために上の定義は妥当といえる。

2) 渇水の発生確率(各年独立の場合)

i) ベルヌーイ試行列によるモデル化: 農業水利ダムの水収支は、通常各年灌漑初期に満水であることを前提条件にして計算され、計画されている。このため、各年の降雨発生が独立であるとすれば、渇水の発生は各年独立で、いわゆるベルヌーイ試行列でモデル化できる。そこで、(a)渇水が n 年以内に起きる確率、(b) n 年間に x 回渇水が起きる確率は、二項分布の問題として、それぞれ(2)、(3)式で求めることができる。

すなわち、 $P_n(X)$ を n 年間に x 回渇水が起きる確率、 p を1年間に渇水の発生する確率とすれば、 n 年以内に渇水の発生する確率 $P_n(x \geq 1)$ は(2)式となり、 N 年間に x 回渇水が起きる確率 $P_N(X)$ は(3)式となる。

$$P_n(x \geq 1) = 1 - p_n(0) = 1 - \binom{n}{0} p^0 (1-p)^n \quad \text{..... (2)}$$

$$P_n(X) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad \text{..... (3)}$$

ii) 渇水の発生確率と10年渇水の意味: (2)および(3)式を用いて、渇水の発生確率を計算したのが、表-1、2である。ここでは1年間に渇水の発生する確率 P を3通り(0.143, 0.1, 0.05)に変えて計算を行っている。

なお、再現期間

R と P との間に

は、 $R = 1/P$ の関係

があるから、再現

期間 R を7年、10

年、20年としたことになる。

表-1 n 年以内に渇水の発生する確率

$\begin{matrix} n \text{ 年} \\ R \text{ 年} \end{matrix}$	1	3	5	7	10	20
7	0.143	0.370	0.537	0.660	0.786	0.954
10	0.100	0.271	0.410	0.522	0.651	0.898
20	0.050	0.143	0.226	0.302	0.401	0.642

表-2 10年間に x 回渇水が発生する確率

$\begin{matrix} x \text{ 回} \\ R \text{ 年} \end{matrix}$	0	1	2	3	4
7	0.214	0.357	0.268	0.119	0.035
10	0.349	0.387	0.194	0.057	0.011
20	0.599	0.315	0.075	0.010	0.001

表-1、2から次のことが読取れる。10年渇水を対象に設計された利水ダムの場合

a) ダム管理開始後何年以内に渇水が発生するかを示す確率はある分布をなし、5年以内に発生する確率

41.0%、10年以内に発生する確率65.1%などとなる。また20年渇水確率も5年以内22.6%、10年以内40.1%など決して小さくない。

b) 10年間に何回渇水が発生するかを示す確率はある分布をなし、渇水が発生しない確率が34.9%ある反面、2回以上発生する確率が26.2%ある。

c) “10年に1回程度生ずる渇水”ということの意味は、表-2において $R=10$ のところの確率値を $P(X=x | x=0,1,2,\dots)$ とすれば、

$$E(X) = \sum_{x=0}^{\infty} x \times P(X=x) = 0 \times 0.349 + 1 \times 0.387 + 2 \times 0.194 + \dots = 1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

すなわち、10年間に渇水が起きる回数(年)の期待値(平均値)が1回であるということである。したがって、より正確には、“10年に平均1回生ずる渇水”というべきである。

3) 連続運転と経年渇水 この渇水発生確率の計算は、各年の灌漑初期に満水であることを前提になされたものである。しかし、現実には、ダムは年を越えて連続的に運転される。貯水量の上限は常時満水位で規制されているため、灌漑期の渇水などのために非灌漑期(冬期)を経ても貯水の完全回復が得られないまま灌漑期が始まる場合にのみ、連続運転の影響が現れる。この場合には渇水の発生しやすい状態となるため、(2)の計算結果は、実際よりいくぶん小さめになっており、表の数値は各場合の下限値を示すものと解してよい。このように前年の影響によって発生する渇水を経年渇水と呼ぶ。

経年渇水は、ダムにより水資源開発された水系に特徴的な現象である。もっとも自然河川の場合にも、経年渇水が考えられないわけではない。梅雨や台風による降雨が著しく少なく、地下浸透量が減少して、翌年の灌漑初期に自流量が減少することがありうる。また、積雪量の多寡が翌年度の灌漑初期の自流量に影響を与えることもよく知られている。しかし、自流量減少の影響は、それがダムへの流入量である場合に大きく現れる。ダムは、フロー形態の水資源を、ストック形態に変換するシステムである。換言すれば、前の時間に生じた事象の効果を蓄積させて、次の時間に生じする事実を利用しようとするものであるから、時系列の影響が本来的に備わったシステムなのである。経年渇水は、ダムの宿命といってよい。

3. 計 画 法

(1) マス・カーブ法による貯水容量計画

1) 10年渇水と計画基準年 貯水池の規模が大きいほど利水の安全度は増進されるが、他方で建設費や管理費が増大する。このため、利水の安全度と費用とのバランスが適切にとられねばならず、わが国では、10年間に平均1回生ずると見なされる渇水(これを「10年渇水」という)に相当する年を計画基準年としている。

計画基準年の決定方法は、計画地域で入手可能な水文データおよび水源の種類によって異なるが、連続干天日数、必要貯水容量等について10%超過確率値(岩井法、確率紙法等を用いる)を求めて10年確率年に近い年を求めるか、最近10カ年で、第1位の渇水年を計画基準年とする。第1位の渇水年が異常渇水年と見なされる場合には、第2位の渇水年または他の10年渇水年に相当する年を選んで、計画基準年とする。

2) マス・カーブ法 わが国で最も広く活用されている貯水容量計画手法で、ダムへの流入量、責任放流量、要補給水量、河川維持流量等を用いて、ダムへの流入量と放流量の収支計算を行い、必要貯水容量を算定するもの

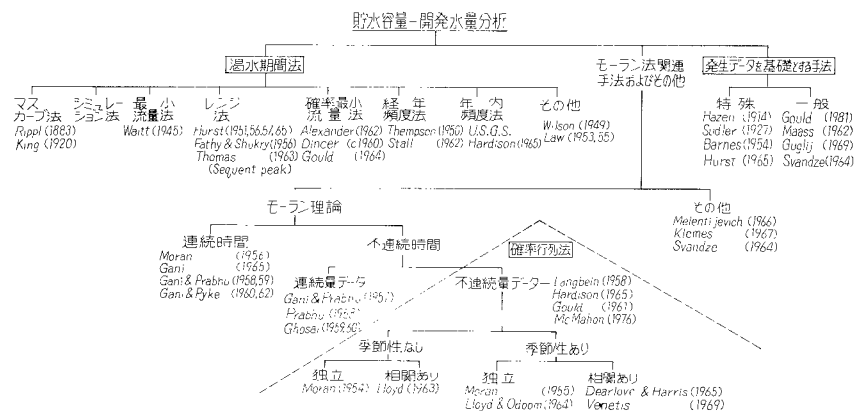


図-1 貯水量～開発水量分析手法の分類 (原図T.A.McMahon & R.G.Mein, 1978を千賀が訳出)

である。

(2)必要貯水容量の算定 図-2に示すように、河川Rの地点Pから灌漑地区Aへ補給するために、上流部にダムDを建設する水利計画があるとする。この場合、必要とされるデータは、取水地点Pにおける計画取水量 $Q_I(\text{m}^3/\text{s})$ 、取水地点Pの流量 $Q_P(\text{m}^3/\text{s})$ および計画ダム地点の流入量 $Q_D(\text{m}^3/\text{s})$ であり、通常、計算時間単位としては日または半月が用いられる。

以下に示す(5)～(7)式によって*i*期までの要補給量の累計値 $\sum D(\text{m}^3)$ を求め、その最大値を当該年の必要貯水容量 $S(\text{m}^3)$ とする。

$$Q_R(i) = Q_P(i) - Q_D(i) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_V(i) = Q_I(i) - Q_R(i) \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 $Q_V(i) < 0$ のとき $Q_V(i) = 0$

$$D(i) = \sum_{k=1}^i (Q_V(k) - Q_D(k)) \times n \times 86,400 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$S = \max \sum D(i) \quad \dots\dots\dots (8)$$

Q_R ：残流域流入量 (m^3/s)、 Q_V ：ダム依存量 (m^3/s)、 D ：要補給量 (m^3)、 n ：第*i*期の半月日数

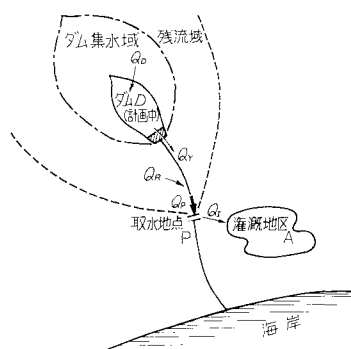


図-2 水利計画のモデル図

4. 計算例 実際の貯水池の水収支計算は、河川水利秩序の維持のための取水条件・貯水条件があって複雑であるが、比較的単純な水収支計算の例を表-3に示す。水文データが整備されていて、計画地区全域にわたる水利計算が最近10年にわたって可能な場合には、そのうちの最大値を計画貯水容量とする。この場合には、計画貯水容量を与える年が10年渇水年として計画基準年となる。それが異常渇水年と認められる場合には、10ヵ年第2位または10年渇水相当年を選んで計画基準年とする。

表-3 貯水池容量の計算(例)

期 別		取水量	取入地点	ダム地点	残 流 域	ダム依存量	ダム地点	要補給量	要補給量
		Q_I (m^3/s)	流 量 Q_P (m^3/s)	流 量 Q_D (m^3/s)	流 量 $Q_R = Q_P - Q_D$ (m^3/s)	不足流量 $Q_I - Q_R$ (10^3m^3)	不足流量 $Q_I - Q_R$ (10^3m^3)	D (10^3m^3)	累 計 (10^3m^3)
7	1	10.0	15.0	5.0	10.0	—	—	—	—
	2	15.0	12.0	4.0	8.0	7.0	3.0	1,300	1,300
	3	15.0	10.0	3.0	6.5	8.5	5.0	2,160	3,460
	4	16.0	9.0	3.0	6.0	10.0	7.0	3,020	6,480
	5	16.0	9.0	3.0	6.0	10.0	7.0	3,020	9,500
	6	10.0	15.0	5.0	10.0	—	$\Delta 5.0$	$\Delta 2,590$	6,910
8	1	16.0	12.0	4.0	8.0	8.0	4.0	1,730	8,640
	2	16.0	9.0	3.0	6.0	10.0	7.0	3,020	11,660
	3	8.0	30.0	10.0	20.0	—	$\Delta 10.0$	$\Delta 4,320$	7,340
	4	13.0	24.0	8.0	16.0	—	$\Delta 8.0$	$\Delta 3,460$	3,880

注1.ダム依存量は正の値のみ記載する。2.ダム地点不足流量の負数(Δ)は余剰流量(貯留可能量)を示す。3.要補給量 $D = (Q_I - Q_R)(\text{m}^3/\text{s}) \times 5(\text{d}) \times 86,400(\text{s}/\text{d})$ 、ただし7月6半月は6日計算。4.累計最大値が必要ダム容量である。5.取水地点およびダム地点で責任放流量がある場合はこれを加味して計算する。

(出典) 農業土木学会：農業土木ハンドブック

参 考 文 献

- 1) McMahon, T.A. and Mein, R.G.: Reservoir Capacity And Yield (Developments in Water science 9), p.3—5 (1978)
- 2) 千賀裕太郎：ダムの利水安全度と貯水運用について、農土誌53(3), p.5—12 (1985)
- 3) 農業土木学会編：農業土木ハンドブック(改訂四版), 丸善, p.212 (1979)
- 4) 千賀裕太郎：渇水貯水量曲線法による単一貯水池運用の計画理論とシミュレーション, 農土論集(110), p.39—49 (1984)

(千賀裕太郎)

なお、貯水池は、毎年灌漑期の直前までに満水となっていなければならないので、非灌漑期を含むダムの貯水状況を、シミュレーションによって確認しておく必要がある。このことが満たされない場合には、そのダムを経年貯留方式で運用する計画とするか、他の流域から導水して貯水する計画をたてなければならない。

1.3 貯水池 (reservoir)

1. 定 義 貯水池には、治水の機能をもつ洪水調節ダムや防災ダムも含まれるが、ここでは、農業用水のような利水の機能をもつ貯水池について述べる。

河川流量に余剰のあるときにこれを貯留しておき、河川流量の不足の生じたときにこの貯留水を放流して補給するために建設される堰堤(ダム)、または、それに加えて、ダムによって湛水された人工湖を含めたものを貯水池という。すなわち、変動する河川の流況を、利水の必要に合わせて調整する施設が貯水池である。

河川(表流水)の流量は、季節によって変化し、年によって変動する。したがって、河川の表流水を取水して、農業用水や水道用水として利用しようとする場合には、河川(表流水)の流量が、農業用水のような利水の需要量(必要取水量)に達せず、不足する場合が生じる。

このような場合に、河川の流量が需要量を超えて余裕がある期間、すなわち、洪水や豊水のさいに、余剰の流量を一たん貯留しておき、その後、渇水に出会って、河川の自然流量だけでは需要を充足することができなくなった場合に、この貯留水を必要なだけ放流して補給してやればよい。このような河川流況を調節する施設が貯水池である。

また、一般に①ある年度に貯水して別の年度に補給放流する、②ある季節に貯水して別の季節に補給する、③ある月に貯水して別の月に補給放流するといった、河川流量を調節する時間単位が、比較的長期間のものを貯水池と呼び、これに対して、週単位、日単位、時間単位のように比較的短い時間単位の流量の調節を行う施設は、調整池と呼んでいる。畑地灌漑システムのファーム・ポンド、都市の水道の配水池、水路式発電所の調整池などが調整池である。

なお、日本では、年度から年度への調節を行う貯水池は、現在のところほとんどみられないが、近年問題にされ始めた経年貯留ダムがこの例である。

2. 解 説 貯水池によって河川余剰水を一たん貯留し、不足時に補給放流することが必要となるのは、次の2つの場合である。

第1は、流量の季節変化と利水需要とのギャップを埋めるために、毎年、ある時期に貯水の補給放流を行う場合である。

ダム式発電がこの例である。すなわち、設置した発電機の容量を、年間を通じてなるべく一杯に活用することが望ましいから、冬季のように、河川の自然流量が少なくなる期間には、それ以前の台風や降雨で河川の自然流量が多量で余剰のある期間中に貯水池に貯留しておいた水を、補給放流してやるのである。言い換えれば、降雨の季節変化がもたらす河川の自然流量の季節変化を、利水の需要に合わせて調節するのである。

第2は、同じ季節、同じ月日であっても、河川の自然流量は年によって変動し、同じではない。したがって、ある年度には需要を上回る河川の自然流量が存在していて十分に取水できても、他の年には自然流量が必要取水量より少なく、河川流量を貯水池からの補給放流によって増量する必要があるが生じる。

このように、毎年必要となるとは限らないのだが、降雨量が少なくて渇水が発生し、河川の自然流量だけでは需要を充足することができない期間に、その不足分を貯水池からの補給放流によって補充するのである。

(1) **ダムサイト** 貯水池の堤体(ダム)の建設に適した地点は、まず、その流域面積(集水面積)が広く、また、堤体敷や周辺の地質が良好でなければならない。また、地形的には、ダムサイトの河川の峡谷の幅が狭く、かつ、そのダムによって貯留できる容量(貯水池容量)が大きいことが望まれる。より少ない築堤量で、より多くの貯水が可能となるからである。

このような、地形的なダムサイトの良否の程度を示すために、貯水効率という比率が用いられている。

$$\text{貯水効率} = \frac{\text{貯水池容量}}{\text{堤体積}}$$

これらの条件に加えて、流域からの土砂の流入によってダムが埋没したりしないことなどの条件も、十分に検討

しなくてはならないことである。→〔貯水池の堆砂〕

さらに、ダムサイトの良否、建設工事の難易と総費用の多少を規定する条件には、地形や地質のような自然的条件だけではなくて、水没補償が重要な条件をなしている。

近年ではさらに、直接水没する住民に対する補償だけではなくて、貯水池の周辺も含めた水源地对策（振興）が必要となってきているうえに、環境保全や自然保護の立場からの反対もあって、好適なダムサイトは、ますます得難くなってきている。

（２）ダムのタイプ（種類） ダムのタイプには、重力式コンクリートダム、アーチダム、ロックフィルダム、アースダム、中空重力式コンクリートダムなどがあり、これらはダムの規模、ダムサイトの地質、築堤材料確保の難易などを考慮して選択されている。簡単に各タイプのダムの特徴を述べる²⁾。

１）重力式コンクリートダム コンクリートで築堤された堤体の自重によって貯水の水圧などの外力に抵抗して安定を保つように設計されるダムである。築堤材料の確保に悩まされることは少ないが、堤体の自重に耐える良質の地盤上でなければ建設しがたい。また、コンクリートの使用量も、次の中空重力式コンクリートダムやアーチ式コンクリートダムに比べても多量である。

２）中空重力式コンクリートダム 前記の重力式コンクリートダムの上流面勾配を緩くして上流面に働く鉛直水圧を有効に利用し、その分だけダム内部のコンクリートを節減したダムである。

３）アーチ式コンクリートダム 水圧などの外力の大部分を、アーチ作用によって、堤体の両岸への接合部に伝達するよう、堤体の水平断面形がアーチ状曲線になっているコンクリート製のダムである。コンクリート量が少なくすむ点が有利であるが、両岸の接合部の地質がとくに良好でなければならず、また近年では、地震時のダム軸方向の安定に疑問がもたれている。

４）ロックフィルダム 岩石を主材料として築堤され、粘土などで遮水壁を設けてある。重力式コンクリートダムに比べて、堤体容積は大きくなるが、その分、基礎地盤が多少不良でもかまわず、堤体の建設コストも安い場合が多いので、近年、多用されているタイプである。

５）アースダム 土を主材料とするダムである。溜池のような小規模な場合に適するが、大規模なダムはできない。

（３）計画利水容量の計算法 どの程度の渇水に対応した利水容量を計画するかが、まず第１の問題であり、一般に、平均して10年に一度、それを超える程度の渇水のさい、利水の需要をちょうど充足させる程度の渇水が選ばれる。→〔1.2 開発流量と必要貯水容量〕

以下、利水ダムの場合に、もっとも多用される日ベースの計算方法を示す。

いま、計画基準年における i 日の貯水池への流入量を q_i 、必要放流量を r_i とし、その差の累計 v を求めると、 $v = \sum (q_i - r_i)$ となる。このような計算を行った結果が、図-1のとおりであったとする。

図において、あるピークを上回る次のピークが現れたとき、そのピークのときの v_1 と v の最低値(v_2)との差が、この期間中に求められた放流を行うための必要貯水量であり、各期の必要貯水量が求められたとき、その最大値が、この貯水池の計画利水容量である。

すなわち、計画利水容量 V は、次のようになる。

$$V = \max[v_1 - v_2]$$

なお、必要放流量は、下流の基準地点（頭首工など）の必要流量から、計画基準年における貯水池の下流流域からの流入量を差引いたものである。→〔開発水量と必要貯水容量〕

最近のように、電子計算機を用いるようになって

からは、貯水池の必要容量の計算は、次に述べるマスカーブ法によらず、ほとんどこの方法で行われている。

日本の場合のように、年度から年度への貯水の経年的運用がみられず、たとえば、灌漑期の最終日に貯水量をゼロにしてしまっても、翌年の灌漑期の開始日までには、必ず貯水量が満水する程度の容量しかない貯水池の場

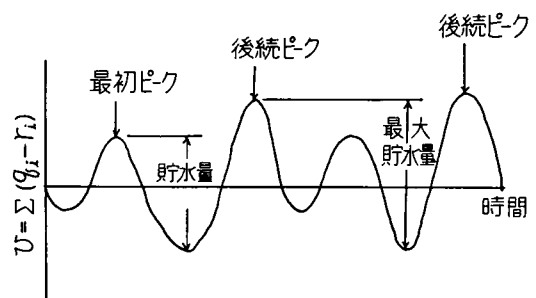


図-1 必要利水容量計算図

合には、前記の計算法を若干修正して用いなくてはならない。

まず、計算開始時点（たとえば、灌漑期の開始日）で、貯水池が満水していると想定し、以後、貯水池を満水させる以上の流入があった場合には、それは余水吐から越流する無効放流とみなすのである。

すなわち、 $v = \sum (q_i - r_i)$ 、 $v < 0$ のときは、 $v = 0$ と置換える。

そのとき、 $V = \max[|v_1 - v_2|]$ となり、翌年度の計算開始時点までに、貯水が少なくとも一度は、満水まで復元していることが必要である。

電子計算機の導入によって、大量のデータを容易に処理できるようになる以前に、発電や水道など土木工学の分野で、簡便な図式計算法として用いられてきたのが、マスカーブ (mass curve) 法と呼ばれる方法であった (図-2)。

図-2 に示したように、横軸に時間、縦軸に累加流量をとり、貯水池地点のそれを記入する。

次に、図中の右下部分に示したように、単位時間（たとえば1年）を底辺とし、その期間中の必要放流量を高さとした、直角三角形を書く。

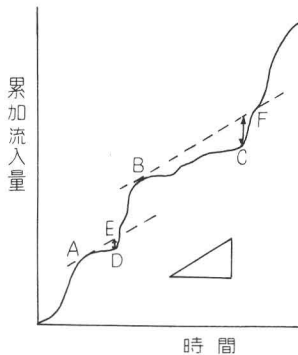


図-2 マスカーブ法

そして、図中のA、Bのような、上に凸で勾配の変化する点から、上記の直角三角形の斜辺と平行（同じ勾配）の接線（図では点線）を引き、それと、累加流量曲線との交点（図ではE、F）を求める。

この点線で引かれた接線から、累加流量曲線に下ろした垂線（図では、D、Cへの垂線）のうち、もっとも大きいもの（図ではCへの垂線）が、貯水池の必要容量である。

しかし、この方法は精度があまり高くなく、農業用水のように、灌漑期間内でも期別に必要量が変化する場合には、図中の直角三角形を期別に違ったものを用いざるをえず、計画有効雨量まで計算に含めようとすれば、かえって複雑なものになってしまう。そのため最近では、マスカーブ法はほとんど用いられていない。

(4) 多目的ダム 貯水池を必要とする部門には、農業用水やダム式発電、上水道、工業用水などの利水部門のほか、治水（洪水調節）部門がある。

一般に、ある河川で良好なダムサイトの地点数は限られているうえに、異なった部門（たとえば、農業用水と発電と治水）が共同して、1つの貯水池を建設したほうが、それぞれが別に複数の貯水池を建設するよりも、経済的に有利な場合が多い。

「夏期」（「洪水期」とも呼ばれ、普通は7月1日～9月30日）には、貯水池への洪水のピーク流入をカットするために、一定の容量を常に空にしておく必要がある。このような治水のための必要容量を洪水調節容量、また、「夏期」期間中は洪水に備えて、利水のための貯水はしないで空^{から}にしておく目標水位を、夏期制限水位と呼ぶ。

この夏期（洪水期）以外の、普通は10月1日～6月30日の期間の貯水しうる最高水位を、常時満水位という。

また貯水池では、一般にその最下層のある容量を「死水容量」として、この部分の貯水は、通常、利水のために放流しない。このような、利水部門が貯水を補給放流することができる最低水位は、「低水位」と呼ばれる。

常時満水位と低水位の間の容量が、「有効容量」と呼ばれ、利水と治水のために利用できる。

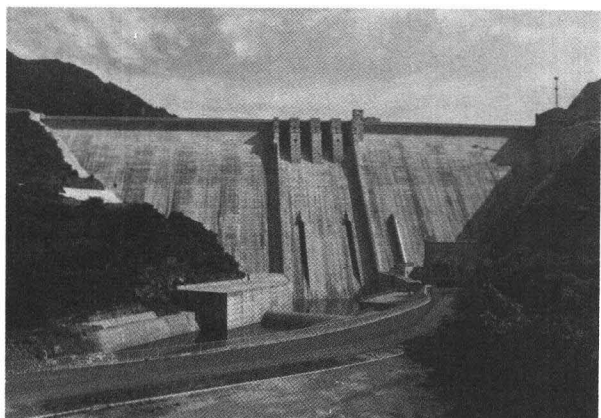


写真-1 草木ダム

なお、貯水池は、農業用水、都市用水、発電といった利水や治水の目的のほか、養漁、観光、レクリエーションなどにも多目的に利用されている場合がある。

3. 実施例 利根川水系渡良瀬川の草木ダムの諸元は、次のとおりである。流域面積 254.0km^2 、湛水面積 1.7km^2 、湛水延長 5.5km 、型式：重力式コンクリートダム、堤高 140.0m 、堤長 405.0m 、堤体積 $1,321,000\text{m}^3$ 、常時満水位 454.00m 、夏期制限水位 440.60m 、最低水位 403.70m 、総貯水容量 $60,500,000\text{m}^3$ 、死水容量 $10,000,000\text{m}^3$ 、有効容量 $50,500,000\text{m}^3$ 、洪水調節容量 $20,000,000\text{m}^3$ 、発電容量 $50,500,000\text{m}^3$ 、利水（農業・都市）容量 $30,500,000\text{m}^3$ （ただし、7月1日～9月30日）

草木ダムの昭和53年の貯水位の推移を、説明の便宜上少し修正して示したのが、図-3である³⁾。

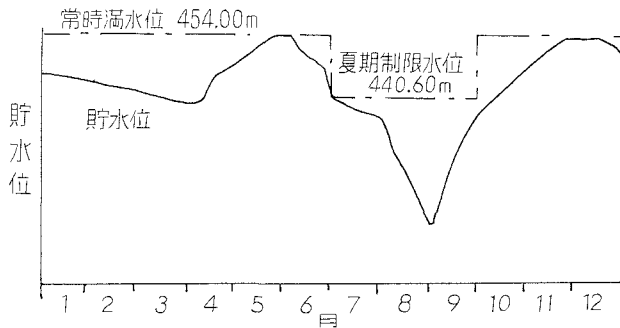


図-3 草木ダム貯水図

1月から4月上旬まで、貯水池への河川流入量が発電のための貯水の補給放流を下回っていて、貯水位が降下し続けている。

4月中旬から、融雪流出や降雨によって、河川流入量が補給放流を上回って貯水位は上昇に転じ、5月中旬には常時満水位に達して満水した。

その後、本格的な水田灌漑期に入って、下流の需要が急増し、河川の自然流量だけでは不足し、貯水池からの補給放流がなされた結果、貯水位は降下している。

7月1日には、夏期（洪水期）の洪水調節のために夏期制限水位まで貯水位を下げなければならぬので、利水目的の補給放流の必要量を超えた放流が行われている。

7月以降は、その年訪れた厳しい渇水のため、大量の補給放流が行われ、貯水位は急降下した。

9月上旬に水田灌漑期がほぼ終り、需要が急減すると、貯水位は再び上昇に転じる。

その後、台風や秋雨があつて、11月末に再び常時満水位まで復元している。

12月中旬からは、発電のための放流が貯水池への流入を上回ったために、貯水位が再び降下し始めている。

参 考 文 献

- 1) 新沢嘉芽統：河川水利調整論，岩波書店（1962）
- 2) 農業土木学会：改訂三版 農業土木標準用語事典（1983）
- 3) 新沢嘉芽統・岡本雅美：利根川の水利，岩波書店（1985）

（岡本 雅美）

1.4 貯水池の堆砂 (sedimentation in reservoir)

1. 定義等 貯水ダムが河道に築造されると、自然環境の変化により新しい平衡関係を得るため河道全体の形態を変え、その上流側ではダムアップによって河川流況が変化して堆砂現象が起こり、逆にダム下流側では流砂阻止に基づいて河床低下現象が起こる。この堆砂現象は、砂防効果や河川砂利資源への活用面で効用を示すが、本来の目的である貯水機能を低下・喪失させ、堆砂の進行に伴ってダム付属構造物の機能障害をひき起こす。とくに貯水池上流側河道では、背砂や背水区間の遡上によって河床はもとより洪水水位や地下水位の上昇現象を生じ、内水災害や土砂災害の発生原因となる。他方ダムの下流側河道では、河床の低下ならびに粗粒化現象を生じ、洪水水位を下げて河道の安定化に役立つが、河川構造物の損傷、塩水の遡上、さらには海岸侵食の助長など、多くの治水・利水機能上の諸障害を誘起する。このような堆砂による諸障害の発生が懸念される場合は、貯水ダムの計画・設計に当り、堆砂量、堆砂分布形状または背砂などを予測し、適切な堆砂防除対策を行う必要がある。

2. 解 説 わが国には有史以来稲作農業を対象にした人工貯水池の築造が多い。しかし、国土の約2/3が標高100m以上の山地で、その地形地質は急峻で地殻変動が激しく、しかも危険降雨としての局地降水量が大きいため山地の侵食速度が世界平均の約4倍以上と非常に大きい。したがって、土砂収支の側面から巨視的にみると、全国で年間約1億 m^3 以上の土砂が生産され、その約1/3相当の土砂が主要ダム群に堆砂し、他の約2/3相当の土砂が山腹や溪床に貯留され、さらにダム下流側にも供給されて、それぞれ河川環境の変化に基づいた利害をもたらしている。表-1²⁾は米

国および日本における
ダム当りの平均堆砂指
標を比較したもので、
経過年数がほぼ同じも
のの堆砂状況は、わ

表-1 世界主要ダム保有国におけるダム当り堆砂指標の比較

	供試ダム数	ダム当り平均貯水容量 $C(\text{m}^3)$	ダム当り平均全堆砂量 $Q_s(\text{m}^3)$	ダム当り平均全堆砂率 $R_s(\%)$	ダム当り平均年堆砂率 $r_s(\%)$	ダム当り平均比堆砂量 $q_s(\text{m}^3/\text{km}^2\text{年})$	ダム当り平均経過年数 $Y(\text{年})$	備 考
日本	349	28.2×10^6	1.90×10^6	18.42	1.02	460*	18.42	吉良資料
米国	968	78.0×10^6	3.07×10^6	3.90	0.72	580**	18.20	Dendy資料

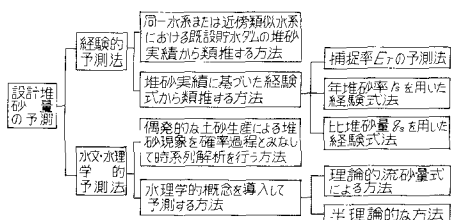
(注) *: 331ダムの平均値, **: 185ダムの平均値 (吉良資料)

が国のほうが米国と比較して貯水容量は小さく、堆砂による埋没速度は高いものと判断される。

3. 計 画 法

(1) 設計堆砂量の予測 ダム貯水量の決定、洪水時における貯水池上流側背水の検討、またはダムの安定計算に当って、設計堆砂量 $Q_{ps}(\text{m}^3)$ を定める必要がある。表-2³⁾はダム建設に伴う堆砂量の予測法を分類したものである。一般にダムの設計基準では、この中の妥当と考えられる推算方法を使って100年間の堆砂量を予測し、設計堆砂量を定めることになっており、これを含めた死水容量に有効貯水容量を加味したものが総貯水容量となる¹⁾。この際、効果の確実な堆砂防除施設がある場合には、その効果を考慮に入れて予測する。堆砂量予測にはかなりの研究成果があるが、多くの要因に支配され、その正確な予測が困難である。そのため従来から主として経験的な手法が用いられている。この場合、たとえば、比堆砂量 $q_s(\text{m}^3/\text{km}^2, \text{年})$ の水系別・都道府県別分布(図-1)、流域面積 $F < 100\text{km}^2$ の場合の農業用ダムにおける比堆砂量推定表、または年々公表される発電用貯水池調整池土砂堆積状況表(電力土木)などが有力な参考資料となる^{1,2)}。また経験式を用いる場合には、捕捉率 E_T 、年堆砂率 r_s または比堆砂量 q_s などの予測式がそれぞれ概算推定の目安となる^{1~3)}。他方、水文・水理学的予測法では、堆砂現象を確率過程とみなして時系列解析を行う方法および水理学的概念を導入して予測する方法が挙げられる。後者の場合、理論的に流砂量を推定するには、粒度ごと掃

表-2 設計堆砂量の予測法



流砂計算を行うための粒度別限界摩擦速度 U_{*c} としてエギアザロフの式を小粒径の範囲で修正した芦田・道上の式、掃流砂量 q_b の計算には佐藤・吉川・芦田の式や芦田・道上の式などがよく適用される^{1~3)}。浮流砂量 q_s の評価にはアインシュタインの式、レーン・カリンスクの式、椿らの式が適用され、これら掃・浮流砂を用いて粒度

別の全流砂量 q_T が推算され、これに捕捉率 E_T を乗じて比堆砂量が得られる。しかし、既存ダムの堆砂実績からみて浮流砂量の大部分が wash load で占められる場合が多く、理論的な計算法のみでの確な算定が困難な場合が多い。このような場合、むしろ経験的な手法を導入した半理論的な予測法が用いられる。

(2) 堆砂形状の予測 設計基準では、貯水池の有効貯水量および泥圧荷重などの設計に際し、堆砂分布形状は原則として設計堆砂量が貯水池の最深部に水平に堆砂するものとしている¹⁾。しかし、実際のダム堆砂実績によると、一般に傾斜した堆砂形状を示すため、計画・設計に当っては、可能な範囲でより適正な堆砂分布形状の予測を行い、ダム建設後には常時堆砂による貯水量の減少を実測し、合理的な貯水池操作を行う必要がある。また、堤体の安定計算で泥圧荷重を考慮する場合における堆泥の深さも、場合によっては詳細な評価を行っておく必要がある。さらに取水設備の取水口や放水設備の呑口などの設置位置の決定や背水の検討に当てもより適正な堆砂形状の推定が必要である。

堆砂形状の予測法を大別すると、表-3³⁾に示すように、i) 経験的な方法、ii) 水理学的な方法がある。前者では経験的面積減少法をわが国のダムに適用するため修正した方法^{1,2)}、後者では特性曲線法を初めとする河床変動理論を用いる推定法^{1,2)}が挙げられる。この際、浮流形式による堆砂が卓越する場合には密度流の果たす役割が重視され、これを導入した解析も必要になってくる。

(3) 堆砂防除対策 貯水池の堆砂防除は、古くかつ新しい問題として検討されてきたが、負荷要因の多様性と相まって画一的で抜本的な防除法は確立していない。しかし、貯水池の恒久的有効利用を図るとともに、貯水池機能を回復し、堆砂による2次的障害を防止するため、既設ダムにあっては堆積土砂の除去・利用、今後の計画ダムにあっては総合的な堆砂防除システムの確立など、実現性のある手法を駆使して貯水池の保全・管理に努める必要がある。貯水池の堆砂防除対策としては、次の項目が挙げられる¹⁻³⁾。

i) 貯水ダム計画画面での対策（適正なダムサイトの選定と設計堆砂の適正評価）、ii) 土砂生産地における対策（流域の計画的な保全・管理）、iii) 土砂輸送河道における対策（河道流送・貯水池流入土砂の調節防止ならびに利用）、iv) 貯水ダムにおける対策（沈殿堆積土砂の調節排除ならびに利用）

流域・河川・貯水池を一環とした総合的な堆砂防除システムとしては、土砂の供給源における計画的な水土保全、溪流・河道部における砂防ダムによる流出土砂の調節、貯水池流入部における多段透過性砂防ダム（多連スリットダムや立体格子ダム）やバイパス排砂施設を用いた計画的な流砂の調節・分級・除去・利用、貯水池内における堆砂池泥の浚渫・分級・利用、さらにはダム部における排砂（サイホン排砂、オーバーフロー排砂、渦動管排砂）などの手法を計画的・組織的に採用することも考えられる³⁾。

引用文献

- 1) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準（設計、ダム）、農業土木学会（1981）
- 2) 吉良八郎：ダムの堆砂とその防除、森北出版（1982）
- 3) 吉良八郎：ダム計画と堆砂（1～6）、農土誌、50(11)～51(4)、(1982～1983)

(吉良 八郎)

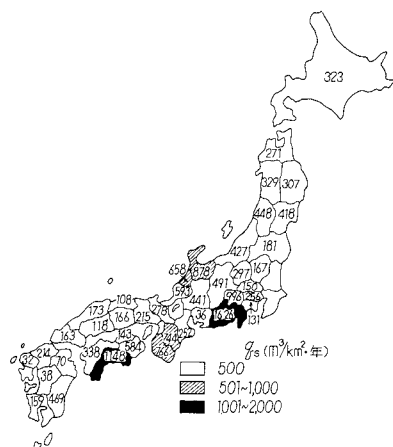
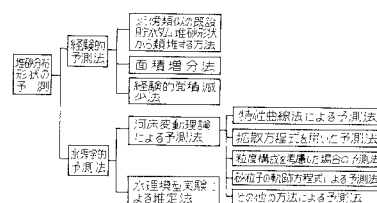


図-1 比堆砂量 q_s (m^3/km^2 , 年) の都道府県別分布 (吉良らによる)

表-3 堆砂分布形状の予測法



1.5 河口湖 (estuarine reservoir)

1. 定義^{1)~3)} 海に無効放流される水を貯留し、それを利用可能な形にすることを目的として、河口または河口付近に設けられる貯水池のことを河口湖という。河口湖はまた淡水湖あるいは淡水化湖と呼ばれることもある。

河口湖に貯留される水は、農業用水の還元水、上流部や中流部の貯水施設で調節のできなかった余剰水、河川あるいは河口の正常な機能を維持するために必要な維持用水など、流域全体での残水や河川を流下する過程で直接利用の対象とならなかった水である。これらの水を河川の最末端部でとらえ、これを再利用しようとする河口湖開発計画は、水の高度利用という面からみて非常に有効な水資源開発手法といえることができる。

河口湖が淡水貯水池として機能しうるかどうかの問題は、土木工学的立場からの最も重要な検討課題である。これには海水域あるいは汽水域を締切ることによって湖内に残留した塩水が流入淡水と速やかに置替わり（これを除塩もしくは淡水湖化という）、最終的な平衡塩分濃度が要求水質を満たしうるかどうかを予測し、適切な除塩工法の選択と合理的な水質管理計画を策定することが大切である。

河口湖開発は地域の水利利用環境の改善に大きく貢献するものではあるが、一方では、その開発が自然環境や社会環境に大きく作用し、多くの多面的で複雑な問題を引き起こす。とくに自然環境の変化は重大であり、河口湖計画の立案に当たっては旧来の自然環境に替わる新しいバランスのとれた環境系を創造するために、開発と自然との調和についての慎重な配慮が必要である。

2. 解 説^{1)~3,6)}

(1) 機能と施設 河口湖は基本的に次の5つの機能を備えていなければならない。このために、通常の貯水施設とは異なっていくつの特徴ある土木施設が設けられる（図-1）参照）。

(1)締切り機能（締切り堤防、防潮水門）、(2)水位制御機能（排水樋門）、(3)水質制御機能（除塩水門、除塩暗渠、除塩ポンプ、海水逆流貯留槽）、(4)通船機能（閘門）、(5)貯水供給機能（取水ポンプ、揚水機場）。

防潮水門、排水樋門および除塩水門は共用されるのが普通で

ある。除塩暗渠はまた除塩サイホンとも呼ばれ、密度流効果で底層に溜った高塩分濃度水を内外水位差を利用した自然排水方式で優先的に外海に排除する機能を持ち、その中間には海水の逆流を防止し排水量を調節するための自動開閉バルブが取付けられる。除塩ポンプは底層水を選択的に強制排水するためのものであり、除塩暗渠に比べて効率的で計画的な排水が可能であるが、維持管理費などが高価になるきらいがある。海水逆流貯留槽は、水門や閘門を通じて湖内に逆流した海水を湖底に一時的に貯留しておく施設であり、最も逆流量の多い閘門前面の湖底を局部的に掘削することによって設けられる。逆流海水をこの貯留槽に円滑に導くために、閘門から貯留槽にかけて誘導路を掘削することもある。

排水門単独では除塩は対流的に行われ、湖内の排水門敷居高より深い部分には原海水が残留したままとなる。一方、除塩暗渠あるいは除塩ポンプ方式では、明瞭な内部境界面を伴って、安定な淡塩二成層の二層交換的除塩が可能で、きわめて効率的に内部境界面を低下させ、またその完全な消失をも図ることができる。底層悪水の選択的排除を行うこれらの除塩方式は塩分以外の他の水質因子の直接的制御に対しても有効に働き、また内部境界面の低下あるいは消失による溶存酸素の深層部への到達は湖底土中のリンの溶出を抑制し、間接的にも湖内の水質を改善する。

(2) 分類 河口湖はその機能や形態などの面から図-2に示すような3つの型に分類できる。

1) 河口堰 河道貯留型の河口湖で、河口部に近い感潮区域内に締切りのための可動堰を設けるものである。河口堰は本来塩害防止、取水維持および河川の正常な機能の維持を目的として設けられるものであり、結果と

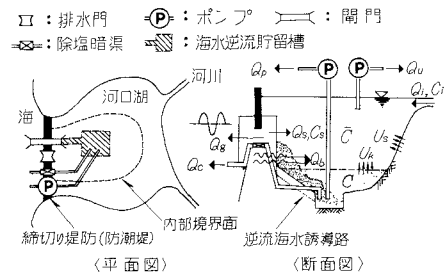


図-1 河口湖とその施設

して、河口維持用水や塩害防止に必要であった維持用水の一部が利用面に転換でき、あるいは流域全体の残水が再利用可能になるものである。可動堰の敷居高は最深河床に一致するのが普通で、排水門方式のみによって比較的容易に除塩が可能である。

2) 河口湖 河川の流入する内湾や潟湖を締切ることによってできるいわゆる狭義の河口湖を指し、干拓地や埋立地の造成とともに計画されるのが普通である。河口堰に比べて、貯留効果が期待でき、大容量の淡水を開発できる点非常に有利ではあるが、通常、排水門敷居高は湖内最深部に一致せず、排水門に加えて底層排水施設を計画しなければならない場合がある。

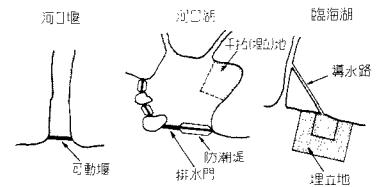


図-2 河口湖の型

3) 臨海湖 埋立地の一部を残してそこに洪水時の河水を導入するものであり、海岸線が単調で直接河口を締切ることができない場合などに計画される。河口堰や河口湖に比べて、舟運や漁業権との抵触あるいは治水上の問題はないが、洪水の一部を短時間で導入するため導水路の規模が大きくなるきらいがある。また、貯水は完全な溜り水となるため河口湖以上に水質の問題が深刻となる。しかし、導入される水が塩分をもたない洪水であり、かつ埋立地によって外海からの塩分浸入がほぼ完全に抑えられるので除塩の必要性はない。

(3) 利点と問題点 河口湖の開発に伴う利点と問題点を列挙すれば以下になる。

1) 利点 ①河川の流域全体を集水面積ととらえることができ、小水系でも開発が可能である。②河口湖や臨海湖では複数河川を取込むことができ、多量の水量を開発することができる。③上流部や中流部でダムその他の貯水施設を建設する適地が見出せない場合でも水源計画が樹立できる。④河川の下流端での利水であるため、他の既得水利権との競合が少ない。⑤比較的水需要地に近く導・送水コストが安い。⑥単位水量に対する開発コストが安い。⑦河口堰や河口湖では高潮防御などの海岸保全効果も期待できる。

2) 問題点 ①河川最下流端に位置するため都市および各種産業排水の影響を受けやすく、とくに貯水の富栄養化の問題が懸念される。②塩分濃度の低下により生態系が著しく変化し、また漁業権との競合が生まれる。③締切りにより水上交通の便が悪くなる。④堰上げにより背後地の排水不良の問題が生まれる。

3. 調査および計画^{2,4,5)}

(1) 調査 河口湖開発に必要な基礎的調査項目は以下のようである。

- i) 水文調査 (30年間程度の資料が必要): ①雨量調査, ②流量調査, ③流送土砂量調査
- ii) 水質調査: ①塩分濃度調査, ②その他水質調査, ③汚濁源調査, ④分散係数試験
- iii) 地質調査; iv) 地下水調査
- v) 海象調査: ①潮汐調査, ②津波, 高潮調査
- vi) 気象調査; vii) 地形調査; viii) その他調査

(2) 計画 河口湖計画は低水計画と高水計画とからなり、低水計画はまた水量計画と水質計画とからなる。一般的計画手順はおおむね図-3のようになる。低水計画では主として、河口湖の型と締切り位置および除塩工法とその規模を決定し、高水計画では排水門の規模と計画高水位を決定する。これらは適当な解析手法によって試行錯誤的に決定されるものであり、またその過程で経済的な評価も加えられねばならない。目標塩分濃度として、農業用水の場合水稲で500ppm、畑作で200ppm、水道原水の場合200ppm、工業用水の場合500ppm程度（いずれも塩素イオン濃度）が一応の目安となる。また、管理水位は、一般に干満差の大きい地域では小潮平均潮位を、それが小さい地域では平均潮位をそれぞれ基準として、これに貯水放流に必要な水位差を加えたものとして決定される。場合によっては、季節的に異なった管理水位を設定することもある。管理水位は除塩の面からはできるだけ高いほうが都合がよく、これによって余裕のある除塩計画を立てることができる。低水計画樹立のための解析は通常計画基準年を対象として行うが、数年もしくは数十年間の解析を必要とする場合もある。また、塩分濃度の解析だけでなく他の水質要素についても解析を行い、環境計画としてあらかじめ水質の長期予測を行っておく必要がある。高水解析で重要な点は、海水が河口湖内へ逆流しないような排水門操作条件を設定することと外潮位を設計高潮位に取ることである。

4. 設計および管理の要点^{2,7)}

(1) 設計 河口湖諸施設の設計は一般の海岸構造物やダムの付帯構造物の設計に準じて行うことができるが、とくに次のような点に注意すべきである。

i) 堤防の設計は、①設計高潮位として既往の最高潮位あるいは“朔望平均満潮位+既往の最大潮位偏差”のいずれかを取る。②天端高（パラペットウォールなどを設置する場合はその頂高）は設計高潮位に余裕高を加えたものとし、堤防の重要度に応じて余裕高は波高の1.0～2.5倍程度とする。③堤幅は塩分浸入防止の面からできるだけ広くし、浸潤線の動水勾配を小さくする。これが不可能な場合、堤体中心部に不透水性材料による心壁を設けたり、矢板を打込んだりする。

ii) 排水門の設計は、①越流型、潜流型の流出形態を可能にする二段式引き上げゲートが好ましい。②水密性に富み内外水位差に応じて鋭敏に動作するゲートを選定する。また、逆潮自動防止装置を設置する。③とくに河口堰の場合、水門敷居高の決定には慎重を期し、洪水の疎通と堆砂問題については十分な検討を行う。④波浪に対する安全性を考慮し、

必要に応じて消波装置を設ける。⑤金属部に対して防錆対策を施す。⑥貝類の付着に対する対策を立てる。

iii) 閘門の設計は、①河口堰のような河道貯留型の場合には、みお筋線上に位置させる。②門扉は水密性の高い構造にする。③逆流海水量を減らすため、通過船舶の大きさに応じたいくつかの閘門を設置することの可能性を検討する。④エアバルブなどの海水逆流防止装置の導入を検討する。

iv) 除塩暗渠・除塩ポンプの設計には、①暗渠呑口付近の堆砂に注意を払い、入口損失の小さい呑口形状とする。②河口湖側暗渠の延長は極力短くし、最短敷設路線を選定する。③暗渠とポンプの呑口位置が同一でよい場合は吸水管の共用を行う。④吸水管を一括排水の単連式にするか分割排水の多連式にするかの検討を行う。⑤海側吐出位置は最低潮位以下にとる。

v) 取水口の設計は、①計画最低水位の場合にも計画取水量が支障なく取水できるようにする。②湖内の面的塩分濃度分布を考慮して、水質および経済的な面から最も妥当な取水地点を選定する。③直接ポンプ取水の場合、下層に塩水が存在する位置では下層塩水の吸上げが起こらない工夫をする。

(2) 管理 水量管理と水質管理とからなる。水量管理はまた洪水時管理と平時時管理とからなる。河口湖の管理に際してとくに注意すべき点は以下のようである。

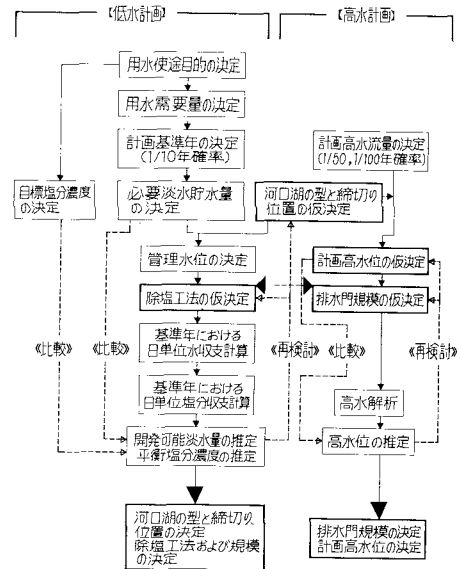
管理施設と管理システムは、管理に必要なデータを収集するテレメータシステムとそれらのデータを監視・分析し、河口湖諸施設を総合的に制御・管理する集中管理システムの導入が好ましい。

収集すべきデータは、流域内雨量(50km²に一カ所程度の雨量計密度)、流入河川測水所水位、検潮所潮位、湖内(排水門直上流部を含む)水位、塩分濃度、排水門開度、除塩ポンプ・除塩暗渠のバルブ開度と放流量および放流水塩分濃度等である。塩分濃度は湖内主要地点数カ所で自動計測し、とくに最深部では鉛直分布をとり内部境界面の位置が検出できるようにする。

洪水時の管理は、出水初期に小洪水と明確に判断される場合には、排水門を通じて上層部の淡水を放水することを避け、除塩暗渠などの底層排水施設を最大限利用する。大洪水時には一般に排水門は全開もしくはこれに近い状態にまで開けられるが、これから平時時操作に移行する段階で海水逆流が生じないように注意する。

平時時の管理は、排水門による放流では、海水逆流を避けるため通常越流型の湖水放流を行うが、内外水位差が十分とれる場合には、潜流型の放流を行い水質管理に役立てる。底層排水施設を有する場合には、それらを最大限利用した上で排水門による放流を行う。管理水位維持のための湖水放流はできるだけ一時期に集中的に行い、フラッシュ効果によって湖内の水質改良と河口閉塞の防止を図る。

水質の管理では、昭和45年4月に閣議決定された生活環境の保全に関する環境基準に基づいて当該河口湖に対



して都道府県知事が水域類型の指定を行った場合、これが行政的な水質目標となる。湖内主要地点において、主な水質要素についての定期的な監視および調査を行い、これらの水質監視の結果いかんによっては、施設管理方法の再検討や適当な行政的措置の必要性が生まれる。

5. 実際例⁸⁻¹⁰⁾ 世界的に最も著名な河口湖はオランダの IJssel 湖である。これは、Zuider 海を締切って干拓後の残水域を多目的な貯水池としたもので、防潮堤（1932年完成）の総延長32km、満水面積は琵琶湖の約2倍に当たる1200km²を有するものである。しかし、水深は3～5 m と比較的浅く、排水門は湖内最深部に設けられているため、比較的容易に除塩が進行し、締切り直後に6,000ppm程度あった塩素イオン濃度は、約5年で全湖平均180ppmにまで低下したと言われる。オランダ第二の河口湖計画は Delta Plan（あるいは Delta Works）と呼ばれるものであり、Rhine 河および Meuse 河の河口の島々を結び、4つの大ダムと3つの副ダムを造るものである。海岸線の短縮と強化、高潮時の浸水防除および農業生産の向上のための塩害防止が計画の目的であり、干拓地の造成を主たる目的とした Zuider 海の場合とは若干その計画思想が異なっている。

大規模な河口湖開発の事例はまた韓国に見られる。栄山江流域農業総合開発事業の中で計画されている大小5つの河口湖を連結させる河口湖群建設計画がそれである。その中で、中心的な役割をもつ栄山江河口湖は、最大貯水量2億5,300万m³（有効1億8,000万m³）、満水面積34.6km²を有する河口堰タイプの河口湖であり、すでに1982年に完成している。自流域をほとんどもたない他の4つの河口湖は連絡水路によって栄山江河口湖から淡水の配分を受けることになっており、これら5つの河口湖がすべて完成すると、総貯水量約13億5,000万m³（有効約8億6,000万m³）、総満水面積約196km²となる。

わが国の河口湖開発の歴史は、1956年の締切りにによって生まれた児島湖に始まる。これは総貯水量2,600万m³（有効1,773万m³）、満水面積10.88km²を有する比較的小規模な農業用水専用の河口湖であるが、いわゆる深い型の河口湖に属しかつ除塩施設として排水門のみしか持たないため、その敷居高以深には依然高濃度塩水が残留している。現在、建設途上にある宍道湖・中海淡水湖は、総貯水量8億8,000万m³（有効8,015万m³）、満水面積147.42km²をもつわが国では最大級の農業用水専用の河口湖であるが、畑地灌漑をも対象としているため、200ppmを目標塩素イオン濃度としている。このため除塩暗渠（3 m × 4 m × 3 連）、除塩ポンプ（16.7m³/s × 2 基）および海水逆流貯留槽（21.2ha × 4 m）が設置され、効率的除塩を行うためこれらは排水門とともに電子計算機によって自動制御されることになっている。

河口堰の例としては、利根川河口堰（総延長834m）、旧吉野川河口堰（同192m）、今切川河口堰（同220m）および現在計画中の長良川河口堰（同661m）等がある。

引用文献

- 1) 西川 喬：水資源開発，山海堂，pp.106～117（1963）
- 2) 社団法人日本工業用水協会：河口湖工学（基礎編，応用編1，応用編2），（1968）
- 3) 南 勲：わが国における多目的淡水湖の技術的展望，水温の研究，16（3），pp.3～12（1972）
- 4) 南 勲・高垣誠一郎：淡水湖化計画，農土誌，44（9），pp.10～16（1976）
- 5) 河地利彦：淡水湖化に伴う水理現象，農土誌，44（9），pp.22～26（1976）
- 6) 南 勲：淡水湖化施設，農土誌，44（9），pp.27～30（1976）
- 7) 河地利彦・保積 修：淡水湖管理の問題点，農土誌，44（9），pp.31～34（1976）
- 8) Jong, C.H.D.：The IJssel Lake as a Multi-Purpose Reservoir, I.A.H.S. Symposium, Hydrology of lakes and reservoirs, pp. 565～574（1966）
- 9) The Information Department of the Ministry of Transport and Waterstaat and the Netherlands Government Information Service：The Delta Project（1967）
- 10) 三本武津雄・西川克彦・笹沼昭司：中海干拓淡水湖化計画について，水と土，39，pp.15～30（1979）

（南 勲・河地利彦）

1.6 水源地域整備 (measures for reservoir area)

1. 定 義 水源地域整備とは、水源地域対策特別措置法において指定された水源地域の生活環境、産業基盤等の整備を行うことをいう。

2. 解 説 ダム等の建設により、多くの宅地や農地が水没し、水没区域を含む市町村は、生活や産業の基盤面にさまざまな影響を受ける。これらの影響のなかで、水源地域市町村にとって不利益をもたらす影響に対しては、何らかの措置を講ずることにより、その不利益を最小限に止めなければならない。これを水源地域整備という。

水源地域整備として講じられている各種の事業を整理すると右図のようになる。

このような各種の対応策によって、水源地域整備は実施されるわけであるが、その基本的な考え方は、次のとおりである。

(1) 水源地域の過疎化の防止 ダムの建設により、特殊な例外を除き多くの宅地や農地が水没する。このため水没地区の住民は、それまでの居住地から移転することとなり、とくに移転先が水源地域以外である場

合は、水源地域における人口の減少を招く。これは水源地域全体の有効需要を低下させ、またそれと同時に残存者の日常生活にも不便をきたす。これにより、さらに人口の流出に拍車がかかることにもなりかねない。

これらに対する方策として次の対策が考えられる。まず、移転者が水源地域内に留まるよう、住宅用地を確保すること。次に、農地の水没による産業基盤の減少を補うだけの公共事業を興すこと。これには、農用地の造成等を含めた土地改良事業、観光事業の基盤整備、さらに各ダムの特性に応じた産業基盤の整備が必要である。さらに、水没関係住民に地元への残存を希望させるような安全で快適な生活環境への改善を行うこと。すなわち、公共施設の整備や治山、治水、砂防等の事業を行う必要がある。

(2) 水源地域市町村への財政的援助 水没移転者の流出による一般税収の減少や、上記の公共事業の地元負担額の増大により、市町村財政への圧迫が大きくなるおそれがあるので、これに対する財政的援助を考えなければならない。

(3) 上下流間の利害調整 ダム建設による効果は、下流受益地に限られる反面、水源地域は産業や生活の基盤が失われるといった上下流間の格差の一層の拡大が発生する。このような場合、上下流の交流の場を通じて、相互理解を図り、場合によっては下流受益者からの水源地域への利益還元等の対策を考えることも必要である。

以上のように、水源地域整備は、ダム建設によって、その周辺地域の発展が阻害される場合にはその影響を除去するためと、下流受益地域との利害の調整のために実施される公共事業、ならびに公共事業推進のための財政援助措置を含めた意味をもつものである。したがって、これらを総合的に推進していくことが要求される。

水源地域整備の主たる課題としては、適正な水源地域整備とは何か、水源地域整備に必要な財源は誰が、どのようなルートで、どの程度負担するのか、整備された施設の維持管理費をどのようにして確保するのか、さらに水源地域整備が一時的な事業として終わることなく、いかにして水源地域に根付いたものとするか、といったことが挙げられる。

参 考 文 献

- 1) 華山 謙：補償の理論と現実、勁草書房（1969）
- 2) 華山 謙：用地補償の手引、鹿島出版会（1982）
- 3) 丸山民夫：ダム補償と水源地域計画、財団法人日本ダム協会（1986）

（丸山 民夫）

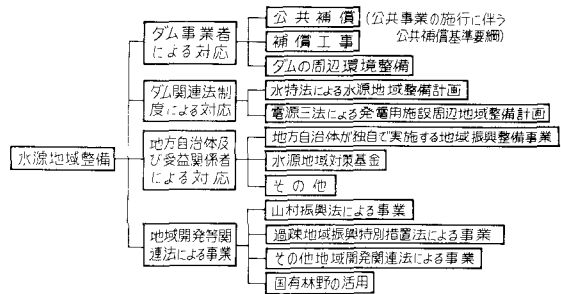


図 水源地域整備の構成