

# 韓国洛東江流域の水利用の展望

宇 和 川 正 人

## ま え が き

洛東江は韓国土の約25%を流域とし、朝鮮半島の南東端の貿易港・釜山市のすぐ西方で朝鮮海峡に注ぐ。漢江とはほぼ同じ規模を持つ。現在、洛東江圏は人口、農業生産、工業生産ともに韓国全体の30%を分担している。

大規模工業基地のほとんどは洛東江圏に計画されており、各生産部門における、今後予測される多くの“ひずみ”をどのように解決していくかが、韓国の経済発展を持続的に支える鍵といえよう。

洛東江流域の年平均降水量は 1,200mm、300億 t で、豊かな水資源といえるが、季節的偏差が大きく、6月から9月に年降水量の70%近くが集中する。今なお、洪水・早ばつ・土壌浸食・河口部の塩水遡上<sup>そじょう</sup>の被害が多く発生している。1966年から1972年にかけて、韓国政府は国連開発計画 (UNDP) / 国連食糧農業機構 (FAO) の協力で、第一次洛東江流域水資源調査 (Nakdong River Basin Pre-investment Study)<sup>1)</sup> を行った。中期の水需給方針をたてるためである。この結果に基づき、1973年に洛東江本流上流に安東ダム (貯水量11億m<sup>3</sup>、アジア開発銀行の資金援助) の建設に着手、1977年に完工。洛東江圏の急増する水需要を暫時まかなっている。

1970年前後における韓国経済は劇的な伸びを記録したが、さらに時代に即した水収支の長期計画の必要が生じた。第二次洛東江流域水資源調査 (Korea/UNDP/FAO Nakdong River Basin Delta Study)<sup>2)</sup> はこのような背景のもとに、1974年から1977年にかけて行われた。

第一次調査は洛東江流域に関する基礎的資料の蒐集、それらに基づく中期の水需給対策を目標とし、第二次調査では、①流域の水質を保全するための水管理原則の開発、②上流ダム群の運用と河口堰構想を組み合わせた水管理体制の開発、③河口デルタ地域の開発方針の策定を目的とし、計画目標年を2001年とした。

筆者は第二次調査の全期間を通じて、FAO 駐韓技術官として韓国政府と FAO コンサルタントとの調整に当たった。調査はその性質上多くの分野にわたり、それぞれはお互いに関連し合っている。図1は主な調査種目と調査ステップを示したものである。

ここでは、二次にわたり11年をかけて、行われた洛東江流域水資源調査の“かなめ”としての水収支の解析を中心にして述べた。

I. 韓国の水資源では、韓国全体としての水資源の概要とその開発の動向を、II. 洛東江流域

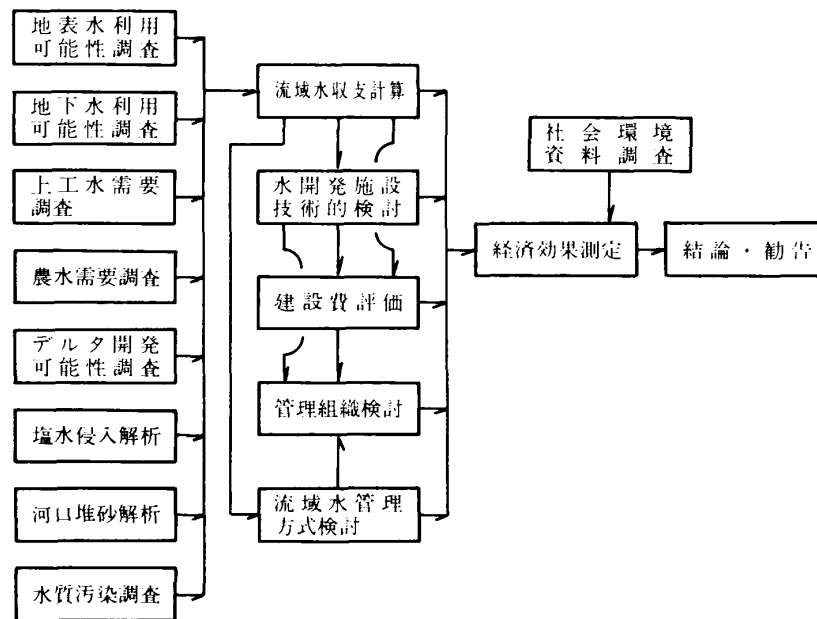


図1 主な調査種目と調査ステップ

の自然の特性では、洛東江流域水資源開発のための背景としての物理的諸条件・特質について、Ⅲ．洛東江流域の水収支では、流域全体にわたる農業取水の系統的解析に重点をおいて、上工水その他需要を総合した水収支の展望について述べた。

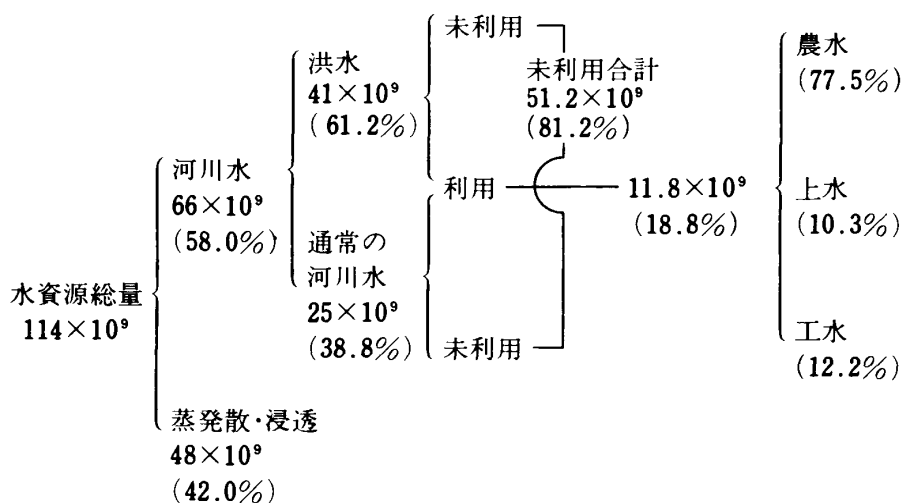
洛東江流域の12%に相当する水田 30万ha のかんがい用水の出し入れ、還元水の反復利用は流域の本支流沿い全域にわたっており、全体の水収支の精度に影響が大きい。広域にわたる流出機構の解析は、かなり大胆な多くの仮定のうえにたたなければならないが、この調査の終局の目的は2001年における流域施設の選定であったので、水需給の比較解析に有意な影響を与えない成分はできるだけ省いた。

## Ⅰ．韓国の水資源

韓国の各地の年平均降水量は 1,000mm から 1,350mm の間に分布し、地域偏差は小さい。年総降水量は  $114 \times 10^9 \text{m}^3$  で、比較的多い水資源を有している。韓国全体としての水資源利用の概略は、表1のとおりである。

しかし、降水の季節偏差は大きく、年総降水量の 2/3 は6月から9月までの雨期に降り、しかも台風と降雨前線の影響によって集中豪雨として不連続的に30日前後降る。山地の60%の植生は良好であるが、残りは不毛または準不毛で岩石が露出し、大陸性気候に起因する表土の浸食は過度で、夏季の豪雨とあいまって、河川の土砂堆積は著しい。概して、韓国の河川は夏は豪雨による洪水と連続旱天による渇水を繰り返す、冬は少ない降水と結氷のため枯川となる。河状係数は400以上が多い。

表1 韓国における水資源の利用 (1975年現在)  
 (韓国嶺南大学校工科大学, 水資源開発セミナー資料, 1976年)



韓国人は伝統的に米を主食としており、夏季には河川水は水稻栽培にかんがい用水として、古くから利用されている。現在においても食糧確保のための農業用水の重要度は国民生活安定上の基幹となっている。加えて、工業化政策による工業用水の需要、工業化都市への人口集中による生活用水の増加は、従来の夏型、すなわち農業用水主体型の水資源利用パターンから都市用水と工業用水を加えた通年消費型へ急速に転換した。近年において、河川下流域の水質の悪化が顕著であるが、この現象は単に下流域の排水汚染によるのみならず、上流中流域における生活用水・工業用水の需要の増加にも原因がある。水資源の通年消費型への志向に対しては、時宜を得たダム建設などによる水供給対策が必須となる。

政府は1965年から1971年にかけて、四大江（漢江・洛東江・錦江・榮山江）流域の総合的な水資源開発調査を実施した。当時の韓国の経済は“漢江の奇跡”として、世界的に注目を浴びた。この劇的な工業成長を支えるためには、基盤整備としての長期にわたる周到な水資源の開発計画の策定が要求されたのである。

政府は、水資源開発にかかわる省庁（韓国では部）の長官・道知事・公社の長からなる四大江流域水資源総合開発委員会（委員長を副総理とする）を発足させ、計画の一元化を図った。米国（漢江）、国連開発計画／国連食糧農業機構（洛東江）、日本（全体ダム計画）が技術協力に参加し、これら流域調査結果に基づき、多目的ダムなどの水資源開発施設の建設に着手、順調な進捗を踏んでいる。一方、工業化の進展、工業化都市への人口集中による流水の水質悪化、建設施設の大規模化に応じた最適ダムサイトの選定の困難さや水没用地補償費の上昇などの問題をかかえている。

表2は1986年までの韓国の水資源開発目標の総括表で、表3は水資源開発を主な目的とした多目的ダムの諸元を挙げた。また、図2の韓国の流域図（主要水資源開発施設の位置を示す）を参照されたい。

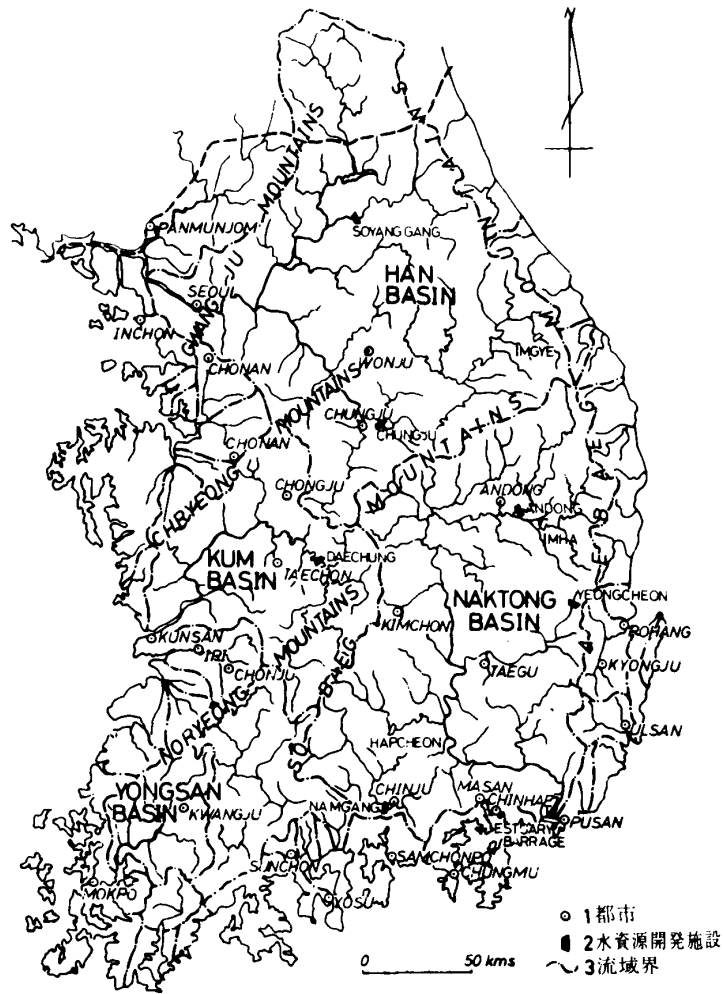


図2 韓国流域図

(Potentialities for Developing the Rivers of Korea, 1959 付図から)  
作成

表2 韓国の水資源開発目標

(単位:  $10^6/m^3/年$ )

	1976年	1981年	1986年
都市用水	1,441	2,059	2,767
工業用水	2,036	3,704	5,896
農業用水	7,219	8,456	9,456
河川維持用水	2,983	2,983	2,983
全需要	13,679	17,202	21,102
地表水需要	8,110	10,313	12,635
流水から	6,718	7,188	7,546
不足量	-1,392	-3,125	-5,018

(韓国建設部水資源局, 1977年)

表3 韓国における水資源開発施設の諸元

ダム名	水系	ダムタイプ	堤高 (m)	堤体積 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	有効貯水量 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	洪水調節 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	給水 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	発電 (10 <sup>3</sup> km)	備考
南江 (Namgang)	洛東江	ロックフィル	21	825	108	43	77	12.6	70年完成
昭陽 (Soyang)	漢江	ロックフィル	123	9,600	1,900	500	1,213	200.0	73年完成
安東 (Andong)	洛東江	ロックフィル	73	4,042	1,000	100	926	90.0	76年完成
永川 (Youngchun)	洛東江	ロックフィル	55	1,419	139	15	80	—	78年完成
大清 (Daechung)	錦江	ロックフィル コンクリート	58	880 490	1,040	250	1,650	90.0	80年完成
忠州 (Chungju)	漢江	コンクリート	89	731	1,880	600	2,002	210.0	工事中

(韓国建設部水資源局, 1977年)

表4 韓国四大江の諸元

	流域面積 (km <sup>2</sup> )	河川延長 (km)	全水資源 (10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )
漢江 (Han)	26,218	497	31
洛東江 (Naktong)	23,860	526	26
錦江 (Kum)	9,886	401	12
榮山江 (Youngsan)	2,798	116	4

(韓国建設部水資源局, 1977年)

## Ⅱ. 洛東江流域の自然の特性

### 1. 地形・地質

朝鮮半島の南西部に位置し、南北 200~240km (北緯 35°~37°)、東西幅 100~130km (東経 128°~129°)、南北を長辺としたほぼ矩形である。流域面積 24,000km<sup>2</sup>、韓国土の25%を占める。

朝鮮半島の脊梁である太白 (Taebaek) 山脈は、東海岸に接近して日本海の海岸線と平行して南北に走り、この山脈から西南西に車嶺 (Charyeong) 山脈、小白 (Sobaek) 山脈を派出する。洛東江の流域は太白山脈と小白山脈を分水嶺としている。高峰として太白山 (1,561m)、伽倻山 (Kayasan, 1,430m)、俗離山 (Sonnisan, 1,057m) がある。これら山系の山頂は屏風状・鋸歯状をなし、渓谷は変化に富んでいる。山麓は肉厚い山面をなし、そのまま平野につながる、いわゆる、老年期地形を呈する (図2参照)。

朝鮮半島の地殻運動は古く、造陸運動の地域に属しており、現在の地形は長期の浸食によって形成されている。花崗岩を主とする岩石の風化・分解は氷河期以来ずっと激しく行われ、現在においても厳冬・酷暑と降水季節偏差の激しさが地形に現れている。また、19世紀における人間による森林植生の破壊は、表層土の浸食を促進し、浸食された材料は河谷に堆積し、河床の上昇をきたし、河床沿いの集約農耕地を埋没させるなどの洪水被害をもたらす。

この調査で洛東江全体について河床堆積調査が行われたが、大部分の支流は堆積期にあり、本流においても洪水による土砂の堆積は著しく、自然堤防・後背湿地形成の過程がみられる<sup>3)</sup>。洛

東江河口デルタは海面変化の影響を受けている。現在、韓国の穀倉地帯の1つ金海 (Gimhae) 平野は、1200年前までは海であったといわれている。

## 2. 気候・気象

いわゆる大陸性気候で、洛東江流域の気温は  $-20^{\circ}\text{C}$  (最低) から  $40^{\circ}\text{C}$  (最高) に達する。冬はモンゴル方面からの冷たい乾いた季節風が吹き、夏は太平洋側から暖かい湿った季節風が吹き込むので、冬は寒く夏は暑い。冬の寒さはシベリア気団の消長に伴う「三寒四温」でいくら

表5 洛東江流域の気象

	北 部	中央部	南 部
平均気温 $^{\circ}\text{C}$			
1月	-3	-1	2
4月	11	13	13
8月	25	26	26
年	11	13	14
平均湿度 %			
10月~3月	67	63	57
4月~9月	73	71	77
年	70	67	67
蒸発計蒸発量 mm			
10月~3月	443	453	550
4月~9月	874	908	754
年	1,317	1,361	1,304
降水量 mm			
10月~5月	437	356	630
6月~9月	756	658	847
年	1,193	1,014	1,477
日照時間 hr/day			
1月~3月	6.2	6.4	6.2
4月~6月	7.3	6.8	6.3
7月~9月	5.7	5.7	5.6
10月~12月	6.0	6.1	6.2
年	6.3	6.2	6.1
風速 m/sec			
10月~3月	3.5	3.2	4.5
4月~9月	2.5	3.1	4.4
年	3.0	3.2	4.4
初 霜	9月14日	10月20日	11月21日
晩 霜	4月12日	4月11日	3月8日

注：北 部：秋風嶺 (Chupungryeong), 1953~1976年

中央部：大 邱 (Daegu), 1952~1976年

南 部：釜 山 (Busan), 1952~1976年

(JKA 資料, 1979年9月)

かしのぎやすい。一般に河川の上流部は12月には結氷し3月上旬まで解氷しない。湿度は夏に熱帯気団の影響で、しばしば90%を超えることがある。また、冬には大陸気団の影響で10%に乾くこともあるが、平均湿度は冬で60%、夏で75%。強い風は、台風(夏季, 雨期), 北風(冬季, 乾期)により起こる。台風は豪雨を伴い、北風は黄塵を伴うことが多い。

洛東江流域の年平均降水量は 1,200mm で韓国の平均値である。その2/3は6月から9月までの夏季に台風と降雨前線の影響によってもたらされ、不連続的に30日前後で降ってしまう。台風随伴降雨は短期間で集中豪雨となり、また前線性降雨は比較的長い期間で、降雨強度は大きくない。両タイプの降雨ともに洪水を発生させ、前者は小流域において、後者は大流域においてしばしば水害をもたらす。冬季の降雪は年に数回程度で、高い山々ではかなり長期にわたり貯えられるが、相対的に量が少ないので流出にはほとんど貢献しない。表5は流域北部, 中央部, 南部における気象データである。

### 3. 河川

洛東江は太白山付近に源を発し、170km 南流し、安東ダムに至る。ダムサイトは河口から342km 上流に位置し、河床標高 92m。ここから 2km 下流で左岸に半辺 (Panbyon) 川が合流する。そこから 66km 西流し、右岸に乃城 (Naeson) 川が合流する。この合流点からが洛東江中

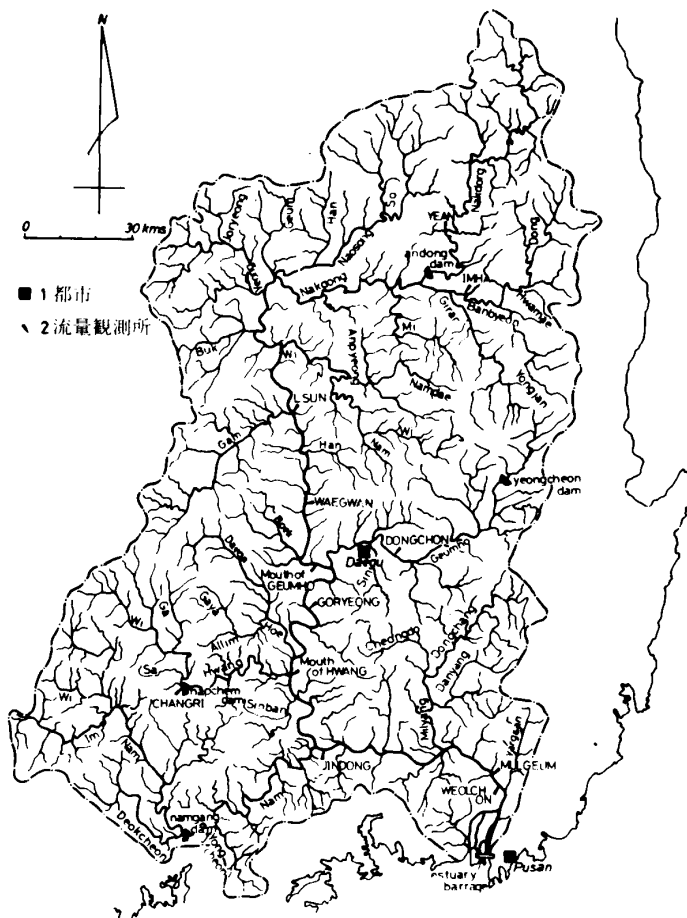


図3 洛東江流域河川図

流部で流域の長軸の中心部を南流し、210km 下って南江 (Nanggan) が合流するが、この地点で河床標高はほぼ 0m となる。中流部区間において、左岸から渭 (Wi) 川、琴湖 (Kumho) 川、右岸から永 (Yong) 川、北 (Puk) 川、甘 (Kam) 川、黄 (Hwang) 川が合流する。南江の合流点から 42km 東流し、密陽 (Miryang) 川と合流して、46km 南流して河口に達する。主流延長 512km。河口には 15,000ha のデルタ、金海 (Gimhae) 平野がひらけている (図 3 洛東江流域河川図参照)。

表 6 に、本流と 11 の支流の延長と流域面積を示した。河川延長は支流長 (+マーク) と河口の下端 (Hadan) 地点を基点として、支流の上流端までの延長も示した。数字は、5 万分の 1 地形図と現地調査で確認しつつ作成された。

表 6 洛東江流域の河川と流域面積

河川名	右岸	左岸	小計	合計	河川延長
	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	
Upper Naktong	837.5	783.4	1620.9	1,620.9	338.5—511.8
Panbyon	—	1963.6	—	3,584.8	+116.1=454.6
Naktong	324.1	660.9	985.0	4,569.5	279.7—338.5
Naesong	1806.7	—	—	6,376.2	+107.1=386.8
Naktong	5.1	13.8	18.9	6,395.1	272.2—279.7
Yong	911.3	—	—	7,306.4	+69.3=341.5
Naktong	35.0	48.1	83.1	7,389.5	257.9—272.2
Puk	419.7	—	—	7,809.2	+31.9=289.8
Naktong	78.2	54.1	132.3	7,941.5	247.0—257.9
Wi	—	1417.5	—	9,359.0	+117.5=364.5
Naktong	79.3	123.8	203.1	9,662.1	211.1—247.0
Kam	1018.2	—	—	10,580.3	+76.6=287.7
Naktong	654.5	418.3	1072.8	11,553.1	158.4—211.1
Kumho	—	2087.4	—	13,740.5	+118.4=276.8
Naktong	122.9	356.9	479.8	14,220.3	123.3—158.4
Hoe	783.3	—	—	15,003.6	+73.2=196.5
Naktong	22.5	29.4	51.9	15,055.5	116.2—123.3
Hwang	1320.6	—	—	16,381.1	+116.9=233.1
Naktong	236.1	230.8	466.8	16,843.0	87.8—116.2
Nam	3461.9	—	—	20,309.9	+193.7=281.5
Naktong	513.9	467.7	981.6	21,291.5	45.9—87.8
Miryang	—	1447.1	—	22,738.6	+101.0=146.9
Naktong total	413.7	505.1	923.8	23,662.4	0.0—45.9

(Pre-investment Survey of Naktong River Basin, Technical Report 1, FAO, Rome, 1972)

#### 4. 河川流出

洛東江河川流出量の月別偏差は大きい。年流出総量の 2/3 以上が 6 月から 9 月 (厳密には 6 月中旬から 9 月中旬までの実 3 か月間) に集中している。同様に、年偏差も大きく、乾燥年は平均年の 50%、湿潤年は、反対に、150%にもなる。この不規則な流出分布を示す原因は、①降雨の



季節的偏差が大きいこと、台風のない年、空梅雨の年もある。②地表の傾斜が急で、河川勾配が大きく、流出時間が早いこと、③流域の植生が不良で、かつ透水層が浅く、自然の地表・地下貯留効果が小さいこと、④かんがい用水・都市用水・工業用水の需要の増加、特に乾燥年におけるかんがい用水の需要増などである。

表7・1は洛東江下流部、河口から85km上流に当たる津洞（Jindong）流量観測点における、1958年から1968年までの月別の最大・最小流出を示したものである。表7・2は同じく津洞における1958年から1968年の、平均年流出、湿润豊水年・渇水年のときの年流出量の30%、50%、70%が発生する日数を示している。

表7・1 津洞における月別の最大/最小流出 (mm), 期間1958~1968年

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
最大	16	54	127	125	71	262	357	221	249	96	53	29
最小	5	3	5	8	4	4	45	10	21	9	7	9

(Pre-investment Survey of Naktong River Basin, Vol. 7, FAO, 1971)

表7・2 津洞における年流出量の30%、50%、70%が発生する日数

	1961年 (豊水年として)	1958/68 (平均)	1968 (渇水年として)
年流出量の30%	15日	10日	6日
“ 50%	33	27	16
“ 70%	74	64	47

(出所は表7・1と同じ)

表8は流域内の主要流量観測所における1958年から1968年における平均月、年流出、全流出量を集計したものである。

表8 洛東江流域における流況

(単位: mm)

Name	Jindong	Goryeong	Waegwan	Ilsun	Dongocheon	Imha	Changri
Catchment (km <sup>2</sup> )	20,311	13,930	11,074	9,502	1,544	1,361	925
Period	1958/68	1958/68	1958/68	1958/68	1958/68	1958/68	1958/68
Jan.	11	5	5	6	5	12	6
Feb.	15	7	7	9	8	8	9
March	29	19	21	22	24	32	44
April	45	35	36	36	40	53	58
May	28	16	19	23	37	32	37
June	36	25	22	22	41	48	88
July	160	141	136	134	156	166	233
Aug.	93	68	64	65	83	53	110
Sept.	110	87	82	75	93	51	52
Oct.	38	22	22	22	41	23	29
Nov.	22	12	14	15	20	21	25

Dec.	15	8	8	11	13	15	11
Total (mm)	602	445	436	440	561	514	702
Total (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	12,247	6,200	4,830	4,180	871	699	649
Max (mm)	900	700	679	651	1,254	900	1,092
Min (mm)	294	216	192	228	265	268	298
Average m <sup>3</sup> /s	380	197	154	133	28	22	21
1/s/km <sup>2</sup>	19.5	14.1	13.9	14.0	17.9	16.3	22.2

注：図3 洛東江流域河川図に流出量観測所を示す。

(Pre-investment Survey of Naktong River Basin, Vol. 7 Hydrological Studies, Daegu, Korea 1971)

## 5. 土砂流出

韓国の地盤地質が浸食性に富んでいることについては、本章の地形・地質の項で述べた。山岳地帯からの浸食材料は河川渓谷に堆積するが、細粒土砂は洪水などにより運搬されて河口に達する。年間  $10 \times 10^6$  t ( $400$  t / km<sup>2</sup> / 年) 以上の土砂が海岸まで運び込まれていると推定される<sup>4)</sup>。この大部分は洛東江の西流域からである。西流域（左岸）の基盤地質は花崗岩を主とする火成岩で、風化の程度が高く、もろくて浸食されやすいことによる。洛東江本流の上流および東流域の堆積岩地帯からの運搬土砂は、その半分程度とみられる。

## 6. 洪水と渇水

洛東江流域の洪水は台風性の豪雨により発生し、流域のどこかで農地に被害をもたらす。特に、8月下旬から9月上旬の水稲の幼穂形成・開花期に浸水すると、収穫は壊滅的である。

1958年から1975年間の洛東江下流の津洞（流域面積  $20,300$  km<sup>2</sup>）における最高水位は1965年7月23日の  $11.65$  m で、洪水流量に換算して約  $10,000$  m<sup>3</sup> / 秒であった。その後、1970年に南江ダムが完成し、次いで1976年に安東ダムが完成、両貯水池での洪水調節量は河口地点で約7%と推定される。一方、洛東江本流および主な支流沿いの堤防建設工事は進んでおり、結果として河口での洪水ピークは若干増加する傾向にある。下端地点（洛東河口）に建設を予定している河口堰の計画洪水流量（100年確率）は  $16,500$  m<sup>3</sup> / 秒となっている。

渇水は11月から6月までの乾期において多発する。被害の大きいのは4月から6月の渇水による水稲の作付の遅延で収穫減をきたす。また、雨期において降雨の不規則な年にはかんがい用水の取り入れを困難にし、4年か5年に1回の早ばつをみたが、1976年に完成した安東ダムは洛東江本流沿いの  $40,000$  ha 農地のかんがい補水を保証した。

## 7. 地下水

洛東江流域内において、全体で  $6,600$  km<sup>2</sup> の沖積地帯に  $3.5 \sim 4$  m の厚さで約  $5 \sim 6 \times 10^9$  m<sup>3</sup> の地下貯留水と、全体で  $10,000$  km<sup>2</sup> に分布する中世代の石灰岩・砂岩層に約  $300$  m 厚の深層地下水  $15 \times 10^9$  m<sup>3</sup> が存在する。このほかに河口デルタの堆積層、沖積深層、火成岩層および火山岩層に若干の地下水の存在が推定され、流域全体では  $25 \times 10^9$  m<sup>3</sup> の地下水を包含している<sup>5)</sup>。

1968～69年の異常渇水年に、かんがい補水のため、多数の地下水用小型ポンプを導入したが、期待された結果を得ることができなかった。地下水の開発は、周到な地下水調査に基づいても、

その一部しか取り出すことができない。

## 8. 塩水侵入

洛東江デルタは1930年に囲繞堤工事により、その後、臨海地帯の若干の干拓が加えられて、約13,000ha が干陸され、かんがいされている。当時、かんがい用水は河口から15.5km地点の大東(Daedong)水門から20m<sup>3</sup>/秒を取り入れていたが、夏の渇水時に塩水が侵入するので、1967年に22.9km地点の月村(Weolchon)に新たに取入水門を増設した。

釜山(Pusan)・蔚山(Ulsan)の都市用水・工業用水は26.7km地点の勿禁(Mulgeum)地点から取り入れられている。

一般に、河口部は緩勾配・低流速で、河口部の流況は、上流における水消費の増加を鋭敏に反応し、特に、かんがい用水の需要ピークが渇水時に発生したときに著しい。河口における干満差は大潮時に1.7m、小潮時に0.4mであるが、低水期には60km上流の守山(Susan)地点まで感潮する。塩水侵入は1969～70年には45km地点の三浪津(Samrangjin)まで及んだ(図4)。

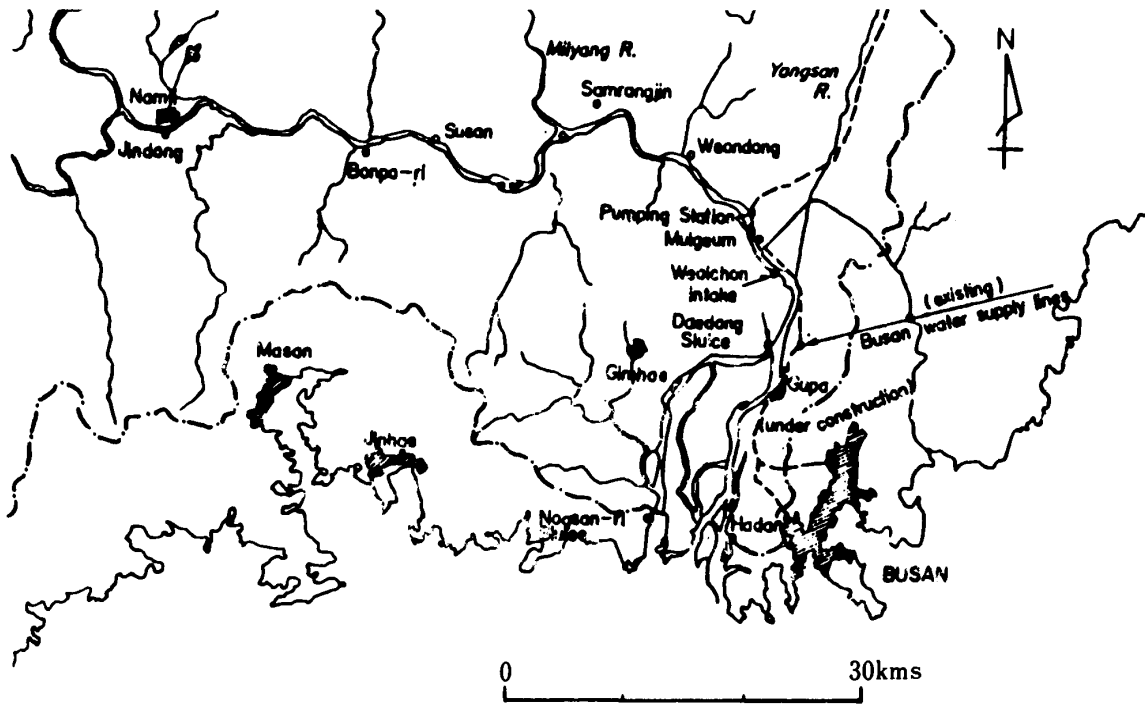


図4 洛東江河口部

(FAO Nakdong River Basin Delta Study, 1971 付図から作成)

渇水年には上流での取水で流量が極度に減少し、勿禁から津洞にかけて集中しているポンプ場付近では、取水量が河川流量を超過し、塩水濃度が勿禁において上水としての塩水限界の200ppmを、月村・大東では農業用水の塩水含有限界、1,200ppmを超えている。この条件のもとで、各種用水を取水可能にするためには、河口からの塩水侵入・<sup>そじょう</sup>遡上を押さえるために必要な水量を上流で準備して放流するか、河口部を<sup>せき</sup>堰止めて積極的に塩水の遡上を断つかである。前者については、河川低流量、潮位の変動、塩水の侵入に関する動的解析法によって放流量を計算する

と勿禁，月村，大東地点においてそれぞれ  $40\text{m}^3/\text{秒}$ ， $52\text{m}^3/\text{秒}$ ， $93\text{m}^3/\text{秒}$ となる。これらの水量は上流の貯水池に確保され，必要とする時期を見越して数日前に放出されなければならない。

### Ⅲ．農業用水の需要

#### 1. 農業取水 (Agricultural water withdrawal) について<sup>6)</sup>

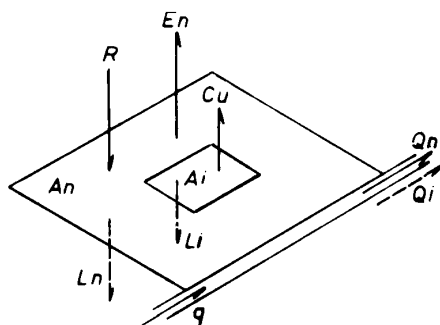


図5 農業取水

ある面積  $A_n$  の自然植生を想定し，そこに降雨  $R$ ，そこからの蒸発散を  $E_n$  とし，降雨の一部は  $L_n$  として失われるものとする。今，この地域の境界に流入する河川流量を  $q$  とし，地域から流出する河川流量を  $Q_n$  とする（地域内貯留は無視する）と，

$$Q_n = q + (R - E_n - L_n) \cdot A_n \dots\dots\dots(1)$$

$A_n$  のなかに，ある面積のかんがいプロジェクト  $A_i$  を開発すると，このプロジェクトに必要な水量はかんがい作物の消費水量  $CU$  と，そこからの損失  $Li$  の和である。このような土地条件のもとで，地域から流出する河川流量を  $Q_i$  とする。

$$Q_i = q + (R - E_n - L_n) \cdot (A_n - A_i) + (R - CU - Li) \cdot A_i \dots\dots\dots(2)$$

かんがいプロジェクトによる純取水量 (Net water withdrawal,  $\Delta i$ ) は  $Q_n$  と  $Q_i$  との差である。

$$\Delta i = Q_n - Q_i = CU \cdot A_i + Li \cdot A_i - E_n \cdot A_i - L_n \cdot A_i$$

かんがいをしない自然状態における損失  $L_n$  は 0 に等しい（この損失は，いつかは河川に流入するものではあるが）と仮定すると，

$$\Delta i = (CU + Li - E_n) \cdot A_i \dots\dots\dots(3)$$

そこで，送水損失 (Conveyance loss) と配水損失 (Application loss) は水田か河川に還元され，還元水は非かんがい地では消費されず，かんがい排水用の水路からの蒸発は無視すると，純取水量はかんがい面積上の水深として表すことができる。そして，この純取水量式 (NWW formula) は有効雨量の概念が入らない。式(3)は，色々のタイプのかんがいに適用することができる。すなわち，

- (1)完全かんがい田：<sup>せき</sup>堰またはポンプによる河川水かんがい
- (イ)シロカキ後

(ロ)シロカキ中と湛水中

(ハ)苗代準備と苗代期

(2)完全かんがい田：ポンプによる地下水かんがい

(3)完全かんがい田：小ため池によるかんがい

(4)不完全（部分）かんがい田と天水田

(5)畑地かんがいと果樹園かんがい

(1) 完全かんがい水田：堰またはポンプによる河川水かんがい

① シロカキ後

図6は完全かんがい水田において、シロカキが終わり、水田に水が張られた状態における水の流れを示す。

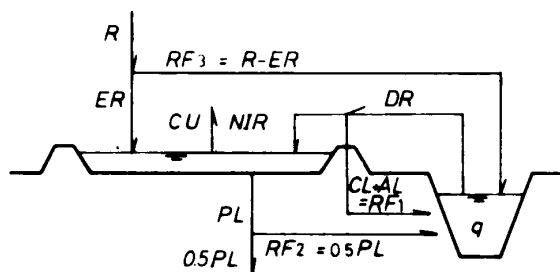


図6 完全かんがい水田（シロカキ後）：ポンプまたは堰による河川水かんがい

- |                  |                     |                     |
|------------------|---------------------|---------------------|
| $R$ : 降雨量        | $DR$ : 分水または揚水量     | $RF_2$ : 還元水（浸透損失）  |
| $ER$ : 有効雨量      | $CL$ : 送水損失         | $RF_3$ : 還元水（超過降雨量） |
| $CU$ : 消費水量      | $AL$ : 配水損失         | $0.5PL$ : 浸透損失量     |
| $PL$ : 浸透水量      | $RF_1$ : 還元水（送配水損失） | $q$ : 河川水量          |
| $NIR$ : 純かんがい要水量 |                     |                     |

同様に、 $\Delta = Q_n - Q_i$  を計算する。

$$\Delta = CU + 0.5PL - En \dots\dots\dots(4)$$

NWW 式(4)は、次の仮定のもとに成立する。

- ①水田面上の湛水深は稲の生育期間中一定とする。
- ②配・送水損失は河川に還元されるものとする。
- ③浸透水量のうち、50%は河川に還元されるものとする。

消費水量  $CU$  は蒸発計蒸発量と稲の生育期にかかわる係数から、 $CU = K(PE, \text{生育期})$  として求める。ここに  $K$  は消費係数で実験値として  $En/PE$  から求められる。 $PE$  は蒸発計蒸発量、 $En$  は自然植生における蒸発散量で、

$$En = K \cdot C \cdot PE$$

$K$  : 有効土壌水分にかかわる係数

$C$  : 自然植生の蒸発散能と蒸発計蒸発量との関係から定まる係数

$PE$  : 10日間（または11日間）の蒸発計蒸発量とする。

$PL$  は全流域についての平均値として 5mm/日（5月～7月）、4mm/日（その他の月）を

用いた。純取水量  $\Delta$  は10日（または11日）間隔で計算された。しかし、この基本公式は長期間においてのみ成立するものである。すなわち、時間の遅れ（time lags）により、10日間以内に川に還元されないかもしれないので、かんがい期の初めと終わりに誤差が生じるが、中間においては誤差はない。

## ② シロカキ中と湛水中

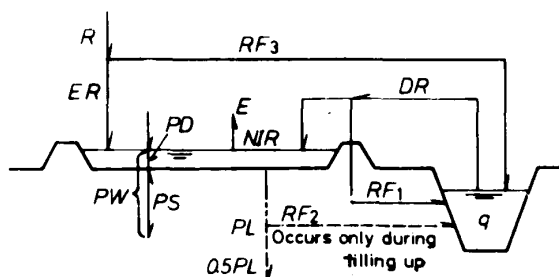


図7 完全かんがい水田（シロカキ中と湛水中）：  
ポンプまたは堰による河川水かんがい

$E$ ：シロカキ，湛水田からの蒸発， $0.7PE$        $PD$ ：水田湛水に要する水量       $PL$ ：浸透水量  
 $PS$ ：土壤飽和に要する水量       $PW$ ：シロカキ用水， $PS+PD$        $0.5PL$ ：湛水中の浸透損失

シロカキ要水量  $PW$  は，土壤を飽和するための水量（ $PS$ ）と要求される水深に水田に水を張っておく水量（ $PD$ ）から構成される。この期間の蒸発損失  $E$  は  $0.7PE$ （ $PE$ ：蒸発計蒸発量）とした。

前項と同様にして

$$\text{土壤飽和中}：\Delta = PS + 0.7PE - En \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{飽和後}：\Delta = PD + 0.7PE + 0.5PL - En \dots\dots\dots (6)$$

ここに，シロカキ水  $PW = PS + PD = (100\text{mm}：\text{土壤飽和のため}) + (50\text{mm}：\text{湛水のため，苗代田の湛水には } 20\text{mm})$  を用いた。シロカキ・湛水期も10日（または11日）の間隔に分けて，初めの2旬は飽水に，あとの10日が湛水にあたられるとする。本田シロカキ・湛水中に苗代田が全水田面積の7%を占めるとすると，シロカキ中の純取水量（ $NWW$ ）は全水田の93%として計算されるが，この期間の3旬目は苗代田も湛水されるので全水田面積を対象とする。

## ③ 苗代準備期と苗代期

かんがい期の初めに苗代田は全水田予定面積の7%に準備されるが，この期間には周囲は小麦や野菜の冬作がなされているので，浸透水の大部分はこれら周りの冬作物に使われて河川に還元されないと仮定する。また，かんがい効率を50%，初めの10日間（苗代田のシロカキ湛水期）の浸透損失は発生しないものとする。苗代全期間の降雨は無視する。

$$\text{最初の10日間}：\Delta = 2(PW + E) - En \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{苗代生育期の30日から40日間}：\Delta = 2(CU + PL) - En \dots\dots\dots (8)$$

## (2) 完全かんがい水田：地下水のポンプ揚水によるかんがい

$$Q_n - Q_i = \Delta = CU + 0.5PL - En \dots\dots\dots (9)$$

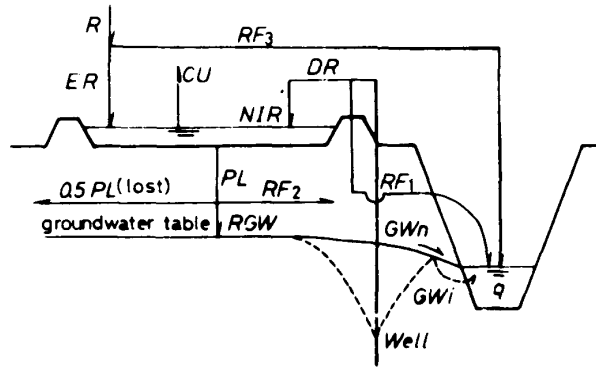


図8 完全かんがい田：地下水のポンプ揚水によるかんがい

$RGW$  :  $(0.5PL - RF_2)$  の地下水リチャージ

$GWn$  : 自然状態における地下水の河川流入

$GW_i$  : かんがい状態における地下水の河川流入

(4)式と全く同じになるが、地下水からの純取水の影響は、ある期間のあとに河川に発生するものであるから、時間の遅れを考慮しなければならない。ここでは、作付計画に従って計算される30日後に、河川に発生するものと仮定した。

### (3) 完全かんがい田：小ため池によるかんがい

洛東江支流流域の水田は約4,000か所の小ため池によってかんがいをされている。この面積の総和は、全流域の水田面積の1/3を占める。小ため池によるかんがいは、3つのタイプに分類することができる。

- ①隣接する高地からの流出を小ため池に受け、かんがい後に余水は支川に排出される。
- ②水田地帯の中に小ため池があり、下流に位置する小ため池が上流からの還元水や流出を受けて、かんがいを繰り返しながら最終的には支川に排水される。

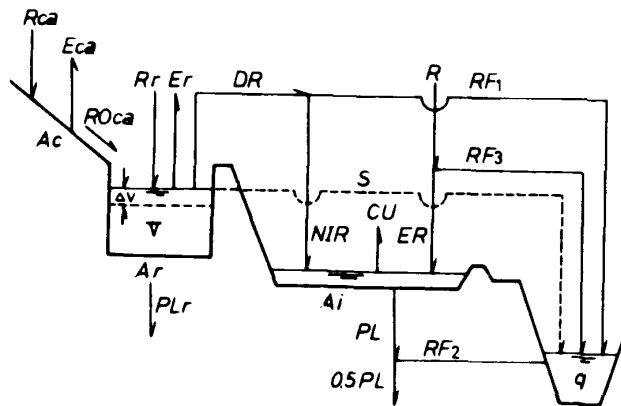


図9 完全かんがい水田：ため池かんがい（シロカキ後）

$Rca$  : ため池の流域における降水量

$V$  : ため池容量

$Eca$  : ため池の流域からの蒸発散量

$Ac$  : ため池の流域面積

$ROca$  : ため池の流域からため池への流入水量

$Ar$  : ため池の面積

$Er$  : ため池の水面からの蒸発量

$Ai$  : 水田面積

$Rr$  : ため池に降る雨量

$S$  : ため池からの溢流

$PLr$  : ため池からの浸透水量

③上流に位置する小ため池には支川から水路で導水され、かんがい後は支川に排水される。

これらのタイプが入り組んで存在するが、頻度や分布についてはよく調査されていない。

比較的単純なタイプ①についての水の移動を示すと、図9のようになる。純取水量を求めるには多くの変動要素、不確定要素があり、複雑な方程式を決めることさえ困難である。他の2つのタイプについては、さらに限りがなくなる。そこで、小ため池によるかんがいも、原則的には他の完全かんがい方式と同じであるとみなす。しかし、時間のずれについては十分考慮する。一般に、かんがいが始まる前に小ため池は満杯になっており、また、かんがい期間中も水は実際使用に先だって流域から取水される。すなわち、純取水量は実際の水利用の時期より早く、河川系へ感応すると考える。また、これら小ため池の容量はシロカキ用水を長い期間かけて貯める程度のものが大半で、かんがい期の初めにおいて完全給水水準にならないものが多い。ここでは、小ため池の純取水量は、河川系には1月（正月）の初めから感応するものとみなし、その水量は苗代からシロカキの必要量として計算し、生育期の要水量は30日間先だって計算された。

#### (4) 部分かんがいと天水田

天水田とはその水田面に降る雨だけで部分かんがいは近隣流域から若干の流入量（ここでは水田面の倍の小流域を仮定した）が加えられるもので、田植えは十分な土壌水分が得られたときのみ行われ、7月10日以降の田植えは生育期間が短か過ぎて、収穫が期待できないので行われない。

$$\Delta = K \cdot CU_i \cdot PE_i + 0.5PL - En_i \dots\dots\dots(10)$$

PL：浸透水量

K：土壌有効水分にかかわる定数

CU<sub>i</sub>：消費係数

PE<sub>i</sub>：蒸発計蒸発量

#### (5) 畑地かんがいと果樹園かんがい

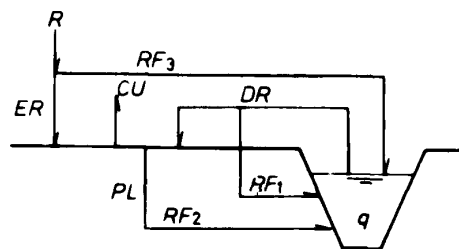


図10 果樹園かんがい：河川からポンプ揚水の場合

$$Q_n = q + R - En$$

$$DR = CU - ER + PL + AL + CL$$

$$Q_i = q - DR + RF_1 + RF_2 + RF_3$$

$$\Delta = Q_n - Q_i = CU - En \dots\dots\dots(11)$$

$$RF_1 = AL + CL, RF_2 = PL, RF_3 = R - ER$$

## 2. 農業取水

### (かんがい面積の分布と分類)

稲作が主なかんがい作物で、ほかに全水田面積の5%程度のリンゴ園に畑地かんがいが行われ



ている。稲作のかんがい期は苗代が準備され、田植えが始まる4月から稲が実った9月末に終わる。この間における最大の水使用は5月、6月、そしてシロカキ期に発生する。かんがいの水源は河川、地下水、流域内に存在する4,000個の小ため池である。表9は、洛東江流域に分布する水田のかんがい方法によって分類したものである。かんがい面積は1958年から1976年までは実績から、1981年から1986年までは政府のかんがい計画に準拠して集計した。水田開発可能地は、1986年までにすべて開発されてしまうものとした。同様にして、洛東江流域の果樹園かんがい面積についても集計した。表10に示す。

表9 洛東江流域の水田の分類

(単位：10<sup>3</sup>ha)

年 次		1958	1963	1968	1971	1976	1981	1986
本流沿い	完全かんがい, ポンプ	18.0	20.0	22.0	27.0	35.0	42.0	48.0
支流沿い	完全かんがい, ポンプ	10.1	10.1	10.4	10.8	13.6	15.9	16.3
	" , 堰	55.4	61.2	63.9	72.3	80.3	86.0	86.6
	" , ため池	50.5	51.2	64.0	69.8	83.1	94.2	105.6
	" , 地下水	0.0	0.0	0.0	26.7	26.6	26.8	27.2
	" 小 計	116.0	122.5	138.3	179.6	203.6	222.9	235.7
	部分かんがい	70.5	71.1	66.6	45.5	34.9	27.2	21.8
天水田		65.5	61.2	61.1	42.9	29.5	18.9	13.5
支流沿い合計		252.0	254.8	266.0	268.0	268.0	269.0	271.0
洛東江流域水田面積		270.0	274.8	288.0	295.0	303.0	311.0	319.0

表10 洛東江流域の果樹かんがい面積

(単位：ha)

	1958	1963	1968	1971	1976	1981	1986
本流沿い	1,000	1,400	1,800	2,400	3,260	4,800	6,400
支流沿い	4,000	5,600	7,200	9,600	15,680	19,200	25,600
計	5,000	7,000	9,000	12,000	18,940	24,000	32,000

全流域を気象条件によって北部 (NSB)、中央部 (CBS)、南部 (SSB) の3ブロックに大別した。これは稲作の作付適期の違いからである。

表11・1は完全かんがい水田における水稻の現況作付で、表の中で期間を示したバーの上段には、この10日 (または11日) 間に適用される水稻の水消費係数を、下段はこれを適用する面積の割合を示す。表11・2は将来作付で水稻の改良品種による作付期を3つに分類し、これらを次のように組み合わせた。

$$\text{NSB} : 0.38 \times \text{Calendar I} + 0.62 \times \text{Calendar II}$$

$$\text{CSB} : 0.34 \times \text{Calendar I} + 0.66 \times \text{Calendar II}$$

$$\text{SSB} : 0.32 \times \text{Calendar I} + 0.68 \times \text{Calendar III}$$





全体的に移植期が、収量の関係で、現況より10日から20日早くなる傾向がある。

3気象ブロックは水収支計算のために洛東江水系に従って、19 (01から19) のブロックに分けられる (図11および表12参照)。

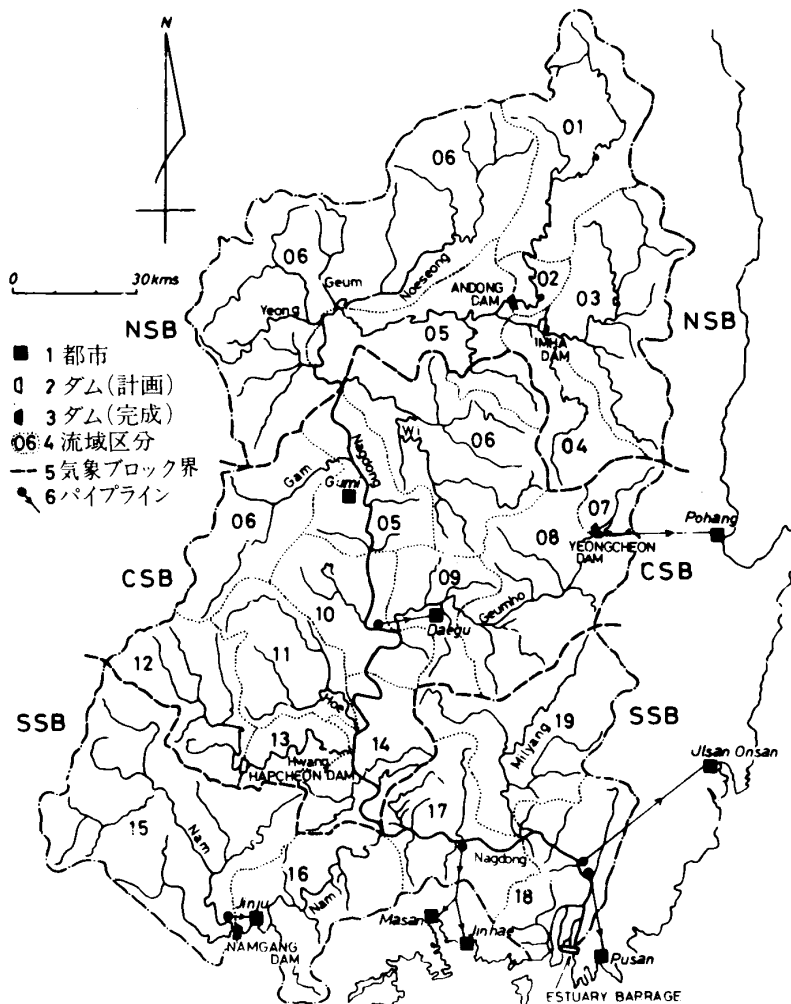


図11 洛東江水系区分  
(表12参照)

表12 洛東江水系区分

code no.	sub-catchment	Area in km <sup>2</sup>
NSB	01 Upper Nagdong upstream Yean	1,329
	02 Upper Nagdong between Yean and Andong dam	255
	03 Banbyeon upstream Imha	1,361
	04 Banbyeon downstr. Imha	604
	05 Nagdong between Andong dam and Waegwan	1,960
	06 Naesong, Bug, Wi, Gam and Yeong river	5,565
07	Geumho upstream dam	235
08	Geumho between dam and Dongchon	1,309
09	Geumho downstr. Dongchon	544

CSB	10	Nagdong between Waegwan and Goryeong	768
	11	Hoe	781
	12	Hwang upstream dam	925
	13	Hwang downstream dam	401
	14	Nagdong between Goryeong and Jindong	808
	15	Nam upstream dam	2,285
	16	Nam downstream dam	1,181
SSB	17	Nagdong between Jindong and Milyang	977
	18	Nagdong between Milyand and sea	921
	19	Milyang	<u>1,447</u>
			23,656

本章の1項の一般方程式と作付計画表，表11・1，11・2から，それぞれの純取水量を算出する方程式を作成することができる。小ため池によるかんがいと地下水かんがいについては，降雨と純取水との時間的な調整が加えられる。

表13に，北部における現況作付による純農業取水量の算出方程式（河川水利用）を示す。

表13 北部，現況作付による純農業取水

dec.	NAWW		
4.3	$\Delta np$	=	$16.8 + 0.10 \times PE - 0.07 \times En$
5.1	$\Delta n$	=	$7.0 + 0.10 \times PE - 0.07 \times En$
5.2	$\Delta n$	=	$7.0 + 0.10 \times PE - 0.07 \times En$
5.3	$\Delta n$	=	$7.7 + 0.10 \times PE - 0.07 \times En$
5.2	$\Delta p$	=	$46.5 + 0.65 \times PE - 0.93 \times En$
5.3	$\Delta p$	=	$46.5 + 0.65 \times PE - 0.93 \times En$
6.1	$\Delta f$	=	$75.0 + 0.70 \times PE - 1.00 \times En$
6.2	$\Delta g$	=	$25.0 + 0.80 \times PE - 1.00 \times En$
6.3	$\Delta g$	=	$25.0 + 1.00 \times PE - 1.00 \times En$
7.1	$\Delta g$	=	$20.0 + 1.10 \times PE - 1.00 \times En$
7.2	$\Delta g$	=	$20.0 + 1.25 \times PE - 1.00 \times En$
7.3	$\Delta g$	=	$22.0 + 1.30 \times PE - 1.00 \times En$
8.1	$\Delta g$	=	$20.0 + 1.35 \times PE - 1.00 \times En$
8.2	$\Delta g$	=	$20.0 + 1.40 \times PE - 1.00 \times En$
8.3	$\Delta g$	=	$22.0 + 1.35 \times PE - 1.00 \times En$
9.1	$\Delta g$	=	$20.0 + 1.30 \times PE - 1.00 \times En$
9.2	$\Delta g$	=	$20.0 + 1.20 \times PE - 1.00 \times En$
9.3	$\Delta g$	=	$20.0 + 1.00 \times PE - 1.00 \times En$
10.1	$\Delta g$	=	$20.0 + 0.50 \times PE - 1.00 \times En$

同様にして，気象的に分けた3つのブロック北部・中央部・南部について，それぞれ1958年から1975年までの18年間の純農業取水量を計算した。

表14は1968年，渇水基準年についての北部における計算結果をまとめたものである。

これらの計算結果は都市用水・工業用水の需要，河口部における塩水侵入，水質汚染コントロールのための河川維持用水と合わせて，流域全体の水収支の解析に用いられる。

表14 1968年、渇水年についての北部における純農業取水量  
(単位：mm)

DEC.	Col. (1)	Col. (2)	Col. (3)	Col. (4)	Col. (5)	Col. (6)	Col. (7)	Col. (8)
1.1			16.5					
1.2			16.5					
1.3			18.1					
2.1			16.5					
2.2			16.5					
2.3			14.8					
3.1			16.5					
3.2			16.5					
3.3			18.1					
4.1		7.6	16.5					22.9
4.2		16.4	16.5					23.4
4.3	21.4	11.6	16.5					29.9
5.1	11.1	35.2	16.5			8.3		20.7
5.2	73.2	73.2	65.7			14.8		20.7
5.3	69.5	77.1	84.8	21.4		28.9		16.1
6.1	91.5	74.9	72.4	11.1		19.7		26.3
6.2	49.2	54.1	38.7	73.2		23.9		27.1
6.3	66.6	67.1	41.4	69.5		33.0		22.0
7.1	56.0	58.7	41.6	91.5		43.6		15.4
7.2	38.7	39.5	38.2	49.2		27.7		34.8
7.3	41.4	42.5	46.5	66.6		11.5		59.5
8.1	41.6	42.6	38.3	56.0		8.4		53.1
8.2	38.2	37.4	31.8	38.7		15.0		38.5
8.3	46.5	45.4	28.0	41.4		0.0		54.2
9.1	38.3	36.5	13.4	41.6		10.6		42.7
9.2	31.8	28.8		38.2				35.5
9.3	28.0	21.1		46.5				28.5
10.1	13.4	12.0		38.3				15.9
10.2				31.8				23.9
10.3				28.0				22.5
11.1				13.4				
11.2								
11.3								
12.1								
12.2								
13.3								
Tot.	756.4	781.7	756.8	756.4	0.0	0.0	245.4	633.6

Col. (1) Pump/Weir irrigated paddy, historical year  
 Col. (2) Pump/Weir irrigated paddy, future year  
 Col. (3) Reservoir irrigated paddy, historical year  
 Col. (4) Groundwater irrigated paddy, historical year  
 Col. (5) Partially irrigated paddy, hist. and future year  
 Col. (6) Rainfed paddy, historical and future year  
 Col. (7) Apple orchards  
 Col. (8) Evapotranspiration of the natural vegetation.

ここまでの解析の結果として、次のような結論が加えられた。

①完全かんがい水田における1958年から1968年までの10年間の平均年純農業取水量は、次のとおりである。

北 部：727mm

中央部：751mm

南 部：588mm

南部が他の2ブロックより20%少ない値を示すが、これは南部の蒸発量が他に比べて、少ないことに原因していると考えられる。

②部分かんがい・天水田の純取水量は、全く降雨に頼っている。乾燥年においては、田植えはおそらく不可能であろう。そのときの純農業取水量は、0と考えられる。計算の結果、18年間における田植えの不可能な年(数)は、次のようになった。

	北部	中央部	南部
部分かんがい田：	3	5	2
天水田	9	12	5

③1958年から1975年までの18年間の果樹園かんがいの平均年純農業取水量は、203mmである。

#### IV. 生活用水・工業用水の需要

洛東江(流域)圏は慶尚北道と慶尚南道それに釜山市を含む32,385km<sup>2</sup>で、これは全韓国土面積の33%に当たる。洛東江圏の人口は1977年現在で12,000千人、全国人口の30%に当たる。人口の増加率は1970年代に入ってから1.5~1.6%を保っている。1960年ごろの農村人口は62%、1970年には52%であったが、農村人口の都市への移動は国の工業化政策を直ちに反映して、1980年代早々には農村人口は40%に減少することは明らかである。洛東江から取水される上(生活用)・工水の大部分は、津洞から下流で取り入れられ、しかも流域外で消費されているが特徴である。すなわち釜山(Busan)・浦項(Pohan)・蔚山(Ulsan)・馬山(Masan)・鎮海(Jinhae)の都市は流域外に位置するが、上下水の供給は地理的に洛東江に依存しなければならない(図11参照)。

将来の工業化都市の上工水の需要は、人口の推定、配水率、単位使用水量、そして工業のタイプによって定まる工業用水の産業別原単位をもとに、政府の長期構想を再確認しながら、積み上げられた。

##### ● 釜山

洛東江河口のすぐ東に位置し、朝鮮海峡に臨む韓国第一の貿易港で、近郊では繊維・電器・化学・金属・木材・食品工業が盛んである。将来の人口は、自然増と移住人口から推定される。移住人口は、政府の雇傭政策と都市人口分散政策に影響される。配水率は現在の80%が漸次2001年に95%になるものとした。1人1日平均給水量は、現在の200ℓから漸次2001年に350ℓに増え

るものとした。

工業は現在と同系統種別の拡大が考えられ、現在の原単位 146m<sup>3</sup>/日/ha から2001年には 200 m<sup>3</sup>/日/ha になるものとした。工場敷地は現在の 1,100ha から次第に増設されて、2001年には 3,600ha になるものとした。

- **大邱 (Daegu)**

洛東江中流部に位置する韓国第三の工業都市で、繊維・機械・化学・食品工業が盛んである。将来の配水率および1人1日平均給水量は、釜山と同様とした。工業開発は現在の 510ha から漸増して、2001年には 2,080ha とした。現在、工場の大部分が各自の地下水、河川からの取入施設を持っていて、市水道の給水率は20%程度である。将来は釜山と同様の普及率になるものとする。洛東江の中流部に位置するので、使用水の一部は還元される。市の資料によると、生活産業用水の70%、工業用水の90%が還元されるとなっているが、釜山市の最近における実測値は67%となっていることから、この数値に近い70%を採用した。

- **龜尾 (Gumi)**

政府は1970年当初に洛東江中流沿いの龜尾地点（大邱から約 40km 北）に電器・繊維系の計画工業団地の新設に着手した。現在(1976年)、人口10万は1986年に25万、2001年には40万と計画されている。給水率は現在の50%から2001年には90%になるものとした。

- **浦項**

流域外に位置する工業都市で総合製鉄基地である。現在は洛東江支流永川ダムから導水しているが、1980年前半には設備が不足する。

- **蔚山／温山 (Onsan)**

肥料・石油化学・造船・金属精錬・パルプその他石油非鉄金属工業基地（温山）の計画都市群である。流域外に位置するが、水源は洛東江に頼らざるをえない。すでに導水施設は増設されている。

- **馬山／昌原 (Changwon)**

現在、馬山には大規模な繊維工場が操業中で、機械・電器工業も進出中である。昌原には総合機械基地、自由輸出ゾーン、2,000ha の計画がある。給水は、洛東江に頼らざるをえない。

- **鎮海**

昔から海軍基地として栄えた港湾都市である。肥料・石油化学・その他小工場が既存する。将来は造船が見込まれる。都市化施設の増強が急務とされている。

- **晋州 (Jinju)**

古くからの商業・教育都市である。農機具・繊維・製陶・パルプ・製紙などの中小企業が主な工業である。将来も、同じ傾向であろう。

- **その他の中・小都市**

人口5万人以下で、工業を持たない都市の将来人口の推定は、今までの歴史的な発展経過を勘案し、政府の上水道普及計画に準拠して行うしか方法がない。しかし、これら流域内に散在する



中小都市の水需要は、還元率を70%として推計すると、その全体に占める割合は2%以下である。全体の水収支に有意の影響を与えない。

● 農村人口

農村地帯での生活用水は、地上水または地下水が使われる。使用した用水の約半分は、再び河川に還元される。今、1986年における流域内の人口を7,300千人、その50%を農村人口、1人1日使用水量を30ℓ、還元率を50%とすると、農村地帯全体の生活用水の純取水量は  $7.3 \times 10^6 \text{人} \times 0.5 \times 0.03 \text{m}^3/\text{人}/\text{日} \times 0.5 \times 365 \text{日}/\text{年} = 20 \times 10^6 \text{m}^3/\text{年}$  となる。この量は洛東江圏の全上工水需要量の2%弱に相当する。全体の水収支に有意の影響はない。

洛東江圏における上工水の純取水量については、農業用水と同じく、1958年から1975年までの18年間について、また、1976年から2001年（目標年）までは5年間隔で推計した（表15）。

表15 洛東江における上工水純取水量

(単位：10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>)

Code no.	1976	1981	1986	1991	1996	2001
03	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6
05	10.1	15.7	20.4	24.4	28.6	33.2
06	2.2	3.4	4.4	5.8	6.9	8.3
08	0.6	81.2	81.4	81.7	82.0	82.3
09	8.8	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
10	25.7	40.0	56.2	73.6	91.2	109.5
11	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
12	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8
13	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3
14	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5
15	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
16	4.1	7.7	11.7	14.1	16.0	18.0
17	68.5	133.5	185.3	212.7	239.5	265.4
18	208.1	475.9	585.2	672.2	768.8	889.7
19	0.4	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7
計	329.3	771.3	959.1	1,099.5	1,248.8	1,423.0

上工水の純取水量に関する解析の結果として、次のような結論が得られる。

①洛東江圏において、ほとんどの上工水は下流部で取水され、しかも、流域外で消費される。すなわち、上工水純取水の87%は釜山、蔚山/温山、馬山/昌原で消費される。当然のことながら、これらを流域内に還元して再利用することはできない。

②将来における洛東江圏の上工水需要のうち、中小都市および農村地帯での生活用水純取水量のシェアは些少であり、流域全体の水収支解析のためには無視することができる。

## V. 洛東江流域の水収支

流域における水開発の必要性は、流域全体の水収支を測定することによって知ることができる。そのためには、水の需要と供給の見通しについての的確に把握することであるが、調査の範囲や判断の資料によって、そのはじき出される数値がまちまちになることが多い。それに、社会・経済の動向が将来の水需要に大きい影響を与えるから、これらのすべてを正しく予想することはむずかしい。一方、水の供給の面でも、降雨、その流出と貯留の解析には多くの仮定が必要となる。特に農地におけるかんがい効率、還元水の反復利用および時間のずれについては、かなり大胆な仮定を余儀なくされる。

この調査は、農業用水の水収支の解析に重点が置かれた。かんがい排水の反復利用は水系全体にわたっており、水収支の精度に影響が大きいからである。

### (流域内の時間のずれ)

河川の下流で、ある日時にある水量を必要とするとき、上流の貯水池からその水量相当を、ある日時先だて放流しなければならない。河川の上流点から下流点へ流量の移動に要する時間、時間のずれ (time lag) は、流量の大きさにより異なる。大流量の移動するときの波の速度は大きいから時間のずれは小さく、反対に小流量のときには、移動波の速度が小さいから時間は長くなる。

一般に、

$$C=3/2 \cdot v$$

$C$ : 移動波の速度,  $v$ : 流速

$$\therefore T = \frac{1000 \times L}{86400 \times \frac{3}{2} \times v} = 0.0077 \frac{L}{v}$$

$L$ : 2点間の距離, km

$v$ : 平均流速, m/秒

$T$ : 時間のずれ, 日

表16は1967年6月における低流量、高取水期の時間のずれを示す。計算における時間のずれの影響は、流域内のすべての時間を月村取入口河口から 23km 上流における“デルタ・タイム (delta time)”に統一することによって消去される。

### (自然流量)

流量観測地点における自然流量は実測された流量に、その上流側でのすべての目的に使用された純取水量を加えることによって得られる。流量実測値のない場合には、降雨データから推定された。倭館 (Waegwan)・高霊 (Goryeong)・津洞 (Jindong)・デルタ・東村 (Dongchon)、洛東江と琴湖川の合流点、洛東江と南江の合流点について、1958年から1975年までの自然流量が計算された。

表16 流域における時間のずれ 1967年6月(単位:日)

観測点	流量(m <sup>3</sup> /秒)	時間のずれ(区間)	時間のずれ(加算)
Weolchen int.			0
Jindson	187	2.0	2.0
Mouth Hwang R.		1.1	3.1
Goryeong	48	2.6	5.7
Mouth Geumho R.		0.7	6.4
Waegwan	47	1.2	7.6
Yean		3.4	11.0
Mouth Hwang R.			3.1
Changri	27	0.9	4.0
Mouth Geumho R.			6.4
Dongchon	8	1.3	7.7

(流量不足計算と貯水池からの放流)

各主要地点における自然流量と水需要が比較され、必要水量が河川流量をある期間越えるときは、用水不足 (deficit) が発生する。この不足水量は、上流の貯水池から放流することによって補われる。需要が増して貯水池からの放水が続くと、貯水池の水位は制限水位まで低下する。この時期 (year of failure) において、次の水資源開発施設からの供給によって、その後の需要を満たさなければならない。

現在、洛東江流域においては、南江ダム・安東ダム・永川ダムが建設されている。陝川ダム・臨河ダムは計画中である。

南江ダムは主な目的は洪水調節で、大流域を有するが貯水量は少ない。永川ダムは浦項への給水が主目的である。この2つのダムは、主流の水不足の補水には役に立たない。安東ダム・陝川ダム(計画中)・臨河ダム(計画中)は、将来の水供給には有意な立地にある。陝川ダムは河口部へ給水するのに4日の距離にあり、臨河ダムは、安東ダムとほぼ同じで、11日の距離にある。そこで、陝川ダムは河口部のためには有利な位置にはあるが、大邱・亀尾における水不足および汚濁水希釈用水を放流する目的のためには、地理的に下流に位置するので、役に立たない。

貯水池から放水する場合、下流側の不足量を十分に満たすためにはダム操作上の損失 (operational loss) を加算して放流する必要がある。この損失は、貯水池と下流の取水地帯の間の時間的なずれにも起因している。 $t$  期間に貯水池から放水量  $Q(t) = F \times D(t)$ ,  $F$  は損失係数で5月から9月までは1.25, 10月から4月までは1.10とした。

冬期には農業用水の需要がなく、取水が一定している上工水の需要が主となり、放流の余裕の幅が少なくてもよい。さらに、河口堰が建設され、上流側のダムとともに操作される場合には、損失の大部分は拾い上げることができる。すなわち、河口部に堰がない場合には、ダム放水量の

表17 貯水池放流計算結果の総括

Reservoir Combination	Demand Conditions	Demand year															
		1976		1981		1986		1991		1996		2001		2006		2016	
		10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	%	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	%	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	%	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	%	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	%	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	%	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	%	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	%
Andong	Estimated demand	671.5	68.0	364.4	36.9	160.4	16.2	27.9	2.8	-112.9	-11.4						
	80% Agric. demand	699.2	70.8	409.9	41.5	250.5	25.4	134.0	13.6	-6.8	-0.7						
	80% M & I demand	702.8	71.1	441.4	44.7	303.9	31.4	214.6	21.7	101.4	10.3	-30.6	-3.1				
	120% M & I demand	638.9	64.8	287.5	29.1	-0.5	-0.1										
	No oper. losses	733.3	74.2	472.1	47.8	295.3	29.9	175.8	17.8	48.9	5.0	-101.2	-10.2				
	Weolchon intake	623.6	63.1	326.0	33.0	111.4	11.3	-21.2	-2.1								
Andong/ Hapcheon	100% M & I demand	1044.9	67.1	807.9	51.8	569.3	36.5			299.2	19.2			-31.0	-2.0		
	120% M & I demand	948.2	60.9	546.1	35.0	271.7	17.4			-60.4	-3.9						
Andong/ Imha	100% M & I demand	1075.5	76.8	763.8	54.5	605.7	43.3			415.1	29.6			174.3	12.4	-148.3	-10.6
	120% M & I demand	1040.6	74.3	686.8	49.0	495.4	35.4			252.2	18.0			-110.2	-7.9		
Andong/ Hapcheon/ Imha	100% M & I demand	1525.4	77.4	1270.7	64.5	1180.3	56.2			916.7	46.5			672.1	34.1	401.0	20.3
	120% M & I demand	1490.2	75.6	1193.7	60.6	1000.7	50.8			743.8	37.7			423.3	21.5	11.4	0.6
Andong/ barrage	100% M & I demand	953.8	96.6	842.0	85.2	763.9	77.3			618.6	62.6			406.7	41.1	98.6	10.0
	120% M & I demand	946.2	95.8	816.4	82.6	710.6	71.9			501.1	50.7			201.9	20.4	-214.9	-21.8

決定に考慮することのできなかつた降雨量が、乾期には河口堰の上流部に貯留されて有効に利用することができるためである。そこで、貯水池と河口堰とを組み合わせる際には  $Q(t) = 1.05 \times D(t)$  とした。貯水池からの放流計算は、将来需要年について5年間隔で、2016年まで行った。

表17は種々の水資源開発施設の組み合わせ、種々の需要条件における貯水池計算結果を示したものである。

自然流量および貯水池放流の計算<sup>7)</sup>はオランダ・デルフト水理研究所のコンピューター CDC-6600 を用いた。

流域水収支に関する総括的な結論は次の通りである。

①永川貯水池は、地方的な重要性を持つ、浦項工業化都市（流域外に位置する）の水供給のためのもので、主流沿岸で発生する水不足に対して貢献はしない。琴湖江自身、乾燥年には大きい水不足が予測される。

②南江貯水池からの放流は、本流の水不足を減少するのに役立つ。しかし、流域全体の統制のとれた水管理が実施されてのことである。

③大邱と亀尾の下流の水質汚染を予防するために、下水処理プラントは早急に建設されるべきである。乾燥年には、安東ダム、または安東ダムプラス臨河ダムの場合ともに中流部の1976年需要条件をも満たすに十分な放流量がない。

④大邱と亀尾の下水処理を考慮すると、安東貯水池は1992年需要を満たすのに一杯である。主流沿いの農水、上工水需要を節約したとしても、また供給の管理をきめ細かく行ったとしても（操作損失を極少にしたとしても）数年間引延ばすことができる程度である。

⑤デルタの農水を取水する施設は不十分である（河口堰のない場合）。月村取水口からの塩分のない用水を保証するためには、安東貯水池からの放水量を増やさなければならないが、このために安東貯水池の利用年数は約2年短くなる。次の大規模貯水池が必要になるが、臨河ダムは地理的に安東ダムに近く、地方投資の分散の意味からも不利である。陝川ダムは水力発電のポテンシャルは大きい。

⑥前項での水収支解析の結果として、安東ダムプラス陝川ダムで需要を満たし得るのは2005年まで、安東ダムプラス河口堰では2019年となる。

## あ と が き

韓国の水資源利用パターンは、工業構造の深化と社会開発政策を反映して、従来の農業用水を主体とする“夏型”から、それに工業用水・都市用水が重ねられた“通年消費型”へ急速に志向している。供給では、日本と同じように、世界でも豊富な水資源を持つ国ではあるが、降雨分布の季節変動が大きく、渇水時における安定した供給のためには、時宜を得た水資源開発施設の建設が必須となる。現在、多目的ダムを主とする施設の建設は着実に進行しているものの、需要の

大型化に伴い施設も大規模となり、最適ダムサイトの選定はだんだんと困難になりつつある。また、水没用地の補償費も年々上昇しており、これらは開発水価に直接はね返っている。

骨山<sup>こつさん</sup>といわれた韓国のハゲ山は“絶対緑化”をモットーにした徹底的な植樹運動で成功の芽をみることができつつある。しかし、厳冬酷暑の気候による岩石の風化分解、土壌浸食は激しいため、大規模な気候段丘、自然堤防はよく発達しているが、浸食岩層、堆積土砂による川底の上昇が洪水の頻発による農耕地の埋没を招いている。長期の広域水資源開発計画の策定に当たっては、これら環境整備を重視すべきである。

安東貯水池は将来中期の洛東江圏の水需要をまかなうから、あまり精密なダムからの放水管理を必要としない時期に、水収支計算に用いられた降雨、蒸発散、還元水の循環、時間のずれ、かんがいタイプ別面積に関する多くの係数について系統だった実験によって適正値を決めることが重要である。すなわち、これら係数の継続的な検定は、水系全体の水管理の精度に直結するからである。

工業化の進展による工業化都市への人口の集中に原因する流水の水質悪化に注目すべきで、特に中流部開発による下流部の汚染は著しい。とりわけ、洛東江中流部に位置する大邱、亀尾の上工水の還元水量と水質変化の調査は重要である。また、河口部の亀浦(Gupo)と月村地点での塩水侵入のモニターは、河口堰を建設したときにおいても、自然環境評価調査のために継続して行われなければならない。

洛東江圏の水利用の特徴として、流域外で、しかも下流部から、上工水需要の70%が取水されている。将来、この割合はさらに増す。当然なことながら、これらを流域内で還元し、再利用することはできない。周到な計画に基づいた大胆な水資源の開発が望まれる。

この報文を書くに当たり、松野正(東京農大総合研究所)、久野一郎(日本工営・海外部)の両氏の教示をいただいた。記して謝意を表するものである。(1981. 9. 26)

#### 注および参考文献

- 1) 第一次調査で動員された国際スタッフ546人・月(西独・アメリカ・日本ほか7か国から)と韓国スタッフ2,865人・月(事務・技能を含む)が参加した。調査費は内外資合わせてUS\$2,385,000, 調査期間:1966年11月~1972年3月
- 2) 第二次調査で動員されて国際スタッフ204人・月(日本・オランダ・イタリー)と韓国スタッフ711人・月が参加した。内外資合わせてUS\$1,607,000, 調査期間:1974年9月~1977年8月
- 3) F.J. Mock and Masahiko Oya, Geomorphology of Naktong River Basin, Basic Study, vol. 3, UNDP/FAO Pre-investment Survey of the Naktong River Basin, Korea, October 1970.
- 4) B. Stegemann, Sediment Transportation in Rivers of Nakdong Basin, Basic Study, vol. 5, UNDP/FAO Pre-investment Survey of the Nakdong River Basin, Korea, March 1971.
- 5) T. Moritiani, Groundwater Reconnaissance Survey, UNDP/FAO Pre-investment Survey of the Nakdong River Basin, Korea, Basic Study 7, August 1971.
- 6) Netherlands Engineering Consultants, Naktong River Basin Delta Study, Technical Report 1-Part 1, Agricultural Water Requirement, December, 1976.

- 7) Netherlands Engineering Consultants, Nakdong River Basin Delta Study, Technical Report 1-Part 5, Water Balance Computation, December, 1976.
1. 韓国産業経済研究所 (1971. 10), 韓国第 3 次経済開発 5 年計画1972-1976
  2. 韓国産業経済研究所 (1976. 10), 韓国第 4 次経済開発 5 年計画概要1977-1981
  3. 在大韓民国日本国大使館 (1975. 8), 統計による韓国経済の概要
  4. 韓国嶺南大学校工科大学, Seminar on Water Resources Development (発表論文集), 1976. 2
  5. L.G. Smith, Potentialities for Developing the Rivers of Korea, July, 1959.
  6. 韓国農水産部/FAO/韓国農業振興公社, Seminar on Waterlogging and Drainage Improvement (報告書), February, 1976.
  7. FAO, Basic Study, vol.1-vol.12, Pre-investment Survey of the Nakdong River Basin, Daegu, Korea, 1967-1971.
  8. FAO, Technical Report 1, Part 1-6, TR 2-1-2, TR3, TR4, Final Report (全11部), Nakdong River Basin Delta Study. 1976-1977.

# **WATER UTILIZATION IN THE NAKTONG RIVER BASIN, THE REPUBLIC OF KOREA**

**Masahito UWAGAWA**

The Naktong River Basin covers a quarter of the area of the Republic of Korea and the Naktong Region provides a third of the national agricultural and industrial outputs, the bulk of which comes from the coastal strip outside the Naktong Basin. The process of the dramatic economic development around 1970 in the Republic of Korea required to change the pattern of water use from "a summer concentration" in the past, in which water was mostly used for agriculture, to "a year-round" adding the increasing proportion of municipal and industrial use on it. As the result of the UNDP/Naktong River Pre-investment Survey (1966 to 1971), Andong multipurpose dam, with 1,000 million tons in capacity, was constructed in upstream of the Naktong River in 1976 and is on full operation. This will be able to supply for the water demand for the coming some years.

However, Seasonal shortage of irrigation water, pollution of river water caused by wastes in the middle reaches and periodical salt intrusion into the lower reaches of the Naktong River already constitute serious problems to the water intakes of industrialized cities and agricultural areas within the tidal reaches. Accordingly, the UNDP/FAO Naktong River Basin Delta Study (1974 to 1977) was executed to cope with the deteriorating water condition of the Naktong River System. The main objective of the study was to draw up an optimal phasing of the major water conservation structures that will be evaluated for the year 2,001. During this study period, the author coordinated the international engineering consultants and the national staff to carry out the project as a FAO Resident Engineer.

The contents of the paper are concentrated on water budget analysis, systematic water management and physical characteristics as a general background for the water resources development on the Naktong River Basin.

The main results obtained are summarized as follows:

1. Since water consumption for paddy irrigation will constitute larger amount of water demands than those for industrial and municipal ones in the Naktong Region in the future as well as at present, simulation of various uncertain coefficients applied on the re-use of irrigation water would be essential to obtain a reasonable results. The net agricultural water withdrawal



should be periodically checked with field measurements in the early years.

2. The water use of medium and small cities amount to 2% or less and rural areas to about 2% of the total municipal and industrial water requirements, so that demands for them can be safely neglected for the basin-wide water management.

3. 70% of total industrial and municipal water are taken from the lower Naktong. The water pollution from the industrialized centers in the middle reaches of the Naktong River should be considered in detail.

4. Andong reservoir will have enough capacity for the coming some years therefore accurate water management is not yet necessary in view of water conservation. First, operation of water supply system can be done manually based on a simple calculation model. During this stage, preparations should be made for the stage 11 regulated by computer.

5. Reforestation of the barren forests is successfully being performed by the efforts of the government after the excessive destruction in the past. However, denudation of slopes is still severe caused by the large lapse of air temperature the wastes from slopes have deposited in the river beds, causing frequent occurrences of flood and destructions of embankments along the Naktong River System. Intangible benefits would be obtained by the careful environmental protection in the long run.