

招待論文

長江と黄河——中国の二大河川——*

THE CHANGJIANG AND THE HUANGHE —TWO LEADING RIVERS OF CHINA—

林 秉南**・李 桂芬*** / 中川博次・訳

By Bingnan LIN and Gui-fen LI
(Translated by Hiroji NAKAGAWA)

1. はじめに

長江と黄河はその流路延長と流域面積の大きさの点で中国における代表的河川であるが、表—1 に示す数字を比較すると、両者で著しい差異のあることが認められよう。

黄河では莫大な量の土砂を運び得る水量が比較的少ないから、世界中で最も深刻な流砂問題に悩まされてきた。たとえば、この河の下流部では土砂堆積による河床上昇のために、河床自体が分水嶺となり、河水は広大な北部平野に流れ込んでいた。歴史的にも破堤による洪水氾濫の記録は数限りなく、そのたびに莫大な生命、財産が失われてきた。この35年余りで黄河はやっと境界線で拘束されるようになり、氾濫の時代は終わりを告げたかにみえる。しかし、これは精力的な堤防の強化によって達成されたものであって、河床上昇は年々続き、河川技術者は今なお深刻な土砂問題に挑んでいる。一方、長江は水量が豊富な割に流砂濃度は低いから、舟運と水力利用の面で際立った河である。以下では、両河川のハイライトを紹介しよう。

2. 長 江

(1) 流 域

長江は総延長6300 kmで、アマゾン河、ナイル河に次ぐ世界第3位の河川である。上述のように、年流出量は1兆 m³で、これはアマゾン河、コンゴ河に次ぐ世界

* 本論文は英文で書かれたものを著者の承認を得て和文化したものである。

** 中国水利水電科学研究院顧問(前院長)、国際泥砂研究訓練センター顧問委員会主席、清華大学水利系兼任教授

*** 中国水利水電科学研究院水力研究所所長、高級工程師

表—1 流出水量と流砂量

	長 江	黄 河
(1) 年平均流出水量(10億 m ³)	1000	56
(2) 年平均流下土砂量(10億トン)	0.5	1.6
(3) (1)/(2)	2000	35

第3位であり、中国全土の表面流出量の37%に達する。この大河はチベット高原に発し、本川はチベット自治区から9つの省と上海などの主要都市を通り、東海(東シナ海)に注ぐ。全流域面積は180万 km²で、中国全土の1/5にあたるが(図—1参照)、地形別に分けると次のようである。

地 形	面 積 (km ²)
平 地	260 000
丘陵地	570 000
山 地 (標高2 000 m 以下)	730 000
山 地 (標高2 000 m 以上)	240 000

チベット高原を除くと、平均気温は15°~20°C、年平均降水量は約1000 mmであり、四川省の岷眉(Emei)で2000 mm以上の最大降水量がみられる。

長江には集水面積10000 km²以上の支川が48、50000 km²以上の支川が9つもある。大きな支川は雅礫江(Yalongjiang)、岷江(Minjiang)、嘉陵江(Jialinjiang)、烏江(Wujiang)、沅江(Yuanjiang)、湘江(Xiangjiang)、漢江(Hanjiang)、贛江(Ganjiang)である。

長江の水源と海面との総落差は5400 mであり、その大きい落差と流出量は莫大な水力エネルギーを生み出す。推定総水力は268000 MWで、国全体の50%に達する。長江はまた内陸水運の動脈であり、支川を含む航路の総延長は7万 kmで、全中国の60%を占める。

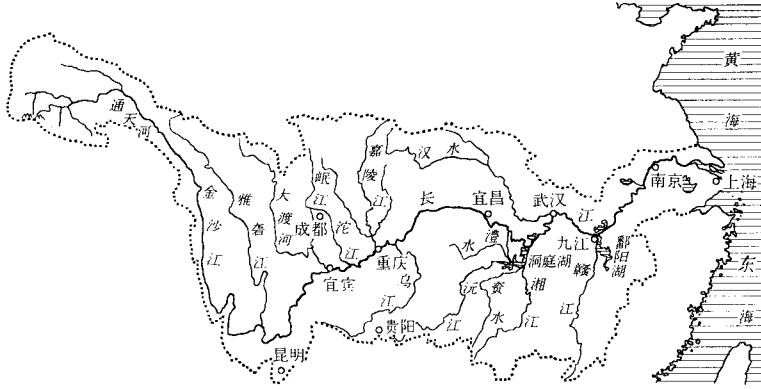


図-1 長江流域

長江流域は人口密度が高く、また中国の主要な穀倉地帯であるとともに天然資源にも恵まれている。2470万haの農地から中国の食用作物の40%が生産され、その70%は米である。主要都市、たとえば上海(Shanghai)、武漢(Wuhan)、大冶(Dayie)、成都(Chengdu)、重慶(Chongqing)では製造工業が発達し、全国の工業生産高の40%を占める。さらに、この流域では水産物、林産物、鉱物が豊富であり、中国における経済発展の中心地を形成している。

(2) 流路

a) 河川区域

従来から長江の川筋は3つの区間に分けられてきた。すなわち、水源から湖北省の宜昌(Yichang)までが上流部で、その流路延長は4500km、流域面積は100万km²である。上流部の各区間ごとに表-2に示す名称がつけられている。金沙江の流路長は2670kmで、雲南省の石鼓(Shigu)まで南流し、そこで急に東北に変向し、有名な虎跳峽(Hutiao Gorge)に入る。この峽谷では16kmの間で200mの落差があり、河幅がわずか30mの所もあって、真白に泡立った奔流が轟音をたてながら流下している。新市鎮(Xinshi)までの2522kmの区間は2500mから3000mの最大深さをもつ峽谷を流れ、その間の平均河床勾配は1/100以上である。宜賓から奉節(Fengjie)までは低い山並の間を流れ、宜昌に至る上流域の最後の200kmが三峽である。この地点では河幅が130mまで狭まり、流速7m/sに達する。

表-2 各区間の名称

区間	河川名
水源から巴塘河の合流点まで	通天河(Tongtianhe)
巴塘河の合流点から岷江の合流点宜賓(Yibin)まで	金沙江(Jingshaji)
宜賓から河口まで	長江(Changjiang)または揚子江(Yangtze)
宜賓から宜昌までの区間	川江(Chuanjiang)

宜昌は長江の大沖積平野の入口である。宜昌と江西省の湖口(Hukou)の間は延長940km、集水面積68万km²の中流部である。この間の河道形態の特徴は、湖北省の枝江(Zhijiang)から洞庭湖(Dongting Hu)の出口にある城陵矶(Chenglinji)までの420kmは蛇行区間であり、また数多くの湖が存在することである。1950年代の調査によると、いくつかの大湖の水面積は表-3のとおりである。それらは洪水流を平滑化し、洪水被害を軽減する役割を果たしている。中流部の本川では水力はほとんど期待できないが、多くの支川では豊富である。これらには北岸の漢江(Hanjiang)と4つの川、すなわち洞庭湖に注ぐ湘江(Xiangjiang)、資水(Zishui)、

表-3 湖の水面積

湖	水面積(km ²)
鄱陽湖(Poyang)	5070
洞庭湖(Dongting)	4350
梁子湖(Liangzi)	1950
華陽湖(Huayang)	1480

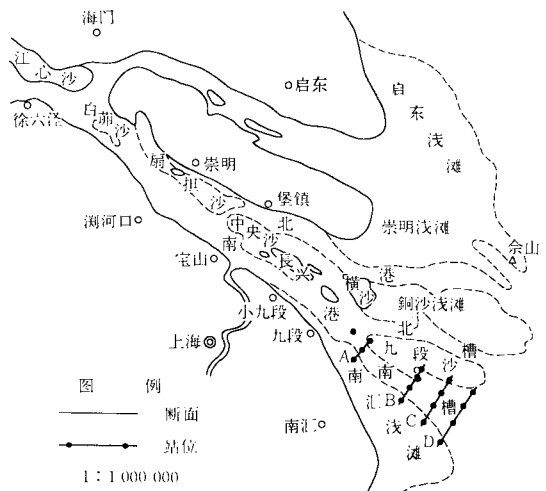


図-2 長江の河口

沅江 (Yuanjiang) および澧水 (Lishui), 鄱陽湖に流入する贛江 (Ganjiang) が含まれる。

湖口から河口までは下流部で, 延長 830 km, 流域面積 12 万 km² である。この区間での河幅は概して広く, 流れも比較的緩やかである。多量の土砂が海まで運ばれて, 河口部に堆積域を生じる。図-2 に江陰 (Jiangying) から吳淞 (Wusong) までに形成された河口島を示す。

b) 水流出と流砂量

長江の水流出の大部分は上, 中流域から出てくるものである。降水量は表-4 に示すように西から東に向かって増加する傾向にある。

5 月から 10 月までが雨期で, この間に年降水量の 70 ~ 90 % が降る。流域は 4 つの降雨域に分けられる。すなわち, 武夷山 (Wuyi Shan), 南嶺 (Nanling), 峩眉山および漢江地域とよばれ, 初めの 2 地域はそれぞれ鄱陽湖および洞庭湖に流入する河川の流出量を支配する。第 3 の地域の雨は四川省における支川の水の供給源である。幸い, これらの地域の雨の時間分布のために洪水のピークが一致することはほとんどない。むしろ, 例外的に異常降雨の発生によって洪水ピークが重なり, 大洪水をもたらす年もある。1931 年および 1954 年の洪水はその例である。

長江の洪水はしばしば驚くほどの大きさとなることがある。宜昌での通常の洪水の最大流量は 50 000 ~ 60 000 m³/s であるが, 過去 100 年間で 60 000 m³/s を超える洪水が 21 回起こったことが実証されている。1870 年の洪水は宜昌で 110 000 m³/s であったと推定されている。1896 年には 71 000 m³/s が記録されており, 支川の流出量も表-5 に示すようにきわめて大きい。

長江の年間流出土砂量は宜昌で 5.21 億 t, 漢口で 4.34 億 t, 大通 (Datong) で 4.78 億 t である。宜昌から漢口までの間は堆積傾向にあり, 数多くの島や州ができています。堆泥に加えて堤防沿いに盛んに開墾が行われ

表-6 本川の流砂資料

河川区域	観測点	集水面積 (km ²)	長期平均流砂量 (m ³ /s)	濃度 (kg/m ³)	年流出土砂量 (×10 ⁶ t)
通天河	梓門塔 (Zhimen Ta)	133 000	387	0.84	10.2
金沙江	屏山 (Pingshan)	485 000	4 640	1.66	243.0
長江	宜昌	1 006 000	14 300	1.18	521.0
長江	漢口	1 490 000	23 500	0.616	434.0
長江	洞庭	1 705 000	29 200	0.541	478.0

たために, 湖はしだいに浅くなり, 貯水量が減少してきた。たとえば, 洞庭湖の水面積は 100 年前には 6 000 km² であったが, 荆江 (Jingjiang) の右岸堤防が破壊して大量の土砂が湖に流れ込んだ。さらに, 長年にわたって湖に運ばれてきた土砂の堆積や大規模な干拓によって 50 年代には湖水面積は 4 350 km² に減り, 現在では 3 000 km² 以下になっている。主な観測点における流砂記録は表-6 に示すとおりである。

c) 水 力

長江の開発可能水力は 197 000 MW, 年間出力は 10¹² kwh と見込まれる。この水力の大部分は金沙江および長江の大支川に集中している。前述のように, 金沙江とよばれる区間での落差は 4 800 m で, 長江の全落差の 89 % にあたり, その開発可能水力は 113 000 MW である。本川に総設備容量が 58 910 MW, 年間出力が 3 200 億 kwh の 25 の発電所が階段状に計画されている。主要な支川も水力が豊富で, 総設備容量が約 30 000 MW, 年間出力が 1 800 億 kwh の合計 300 以上の水力発電所が計画されている。支川のうちでは, 岷江の包蔵水力が最大で, 長江全体の 20.6 % を占めており, 雅礫江はそれよりやや少なく全体の約 10 % である。二灘 (Ertang) 水力計画は雅礫江と金沙江との合流点近くに位置し, ダム高は 245 m, 総設備容量は 3 000 MW の規模である。これに続く水力地点は洞庭湖に流入する 4 つの支川であり, これらは長江の全水力の 6.6 % を占める。中でも沅江は総延長 1 050 km の間の落差が 735 m もあり, この川筋で 27 地点の開発計画があり, 総設備容量は 4 650 MW, 年間出力は 310 億 kwh である。

(3) 三峽 (Three Gorges)

三峽は四川省の奉節近くの白帝城 (Baichicheng) から湖北省の宜昌に近い南津関 (Najinguan) までの 192 km の区間にあり, 広い谷で分けられた 3 つの狭い峡谷から成っている。これが有名な三峽で, 瞿塘峽 (Qutang), 巫峽 (Wu) および西陵峽 (Xilin) より成る。それらの間の広い谷は大寧河 (Daninghe), 香溪 (Xianqi) および廟南 (Miaonan) として知られ, わずかながら農地もあって三峽区間での中心地域をなしている。

白帝城を起点として大溪 (Daqi) で終わる瞿塘峽は延長 8 km で, その風景は写真-1 のようである。石灰

表-4 年降水量

地 域	年降水量 (mm)
水源地	250~500
金沙江	600~900
長江	600~1 400
宜昌より下流の残流域	800~1 800

表-5 支川の流出量

支川	観測点	集水面積 (km ²)	長期平均流出量 (×10 ⁶ m ³ /s)	最大観測流量 (m ³ /s)
岷江	高昌 (Gaochang)	131 000	98 200	27 000
嘉陵江	北碚 (Beipei)	161 000	65 400	33 000
烏江	武隆 (Wulong)	72 800	57 000	—
沅江	常德 (Changde)	87 600	72 000	23 800
湘江	長沙 (Shangsha)	78 400	70 000	19 800
漢江	念盤山 (Nianpan shan)	142 000	49 000	40 000

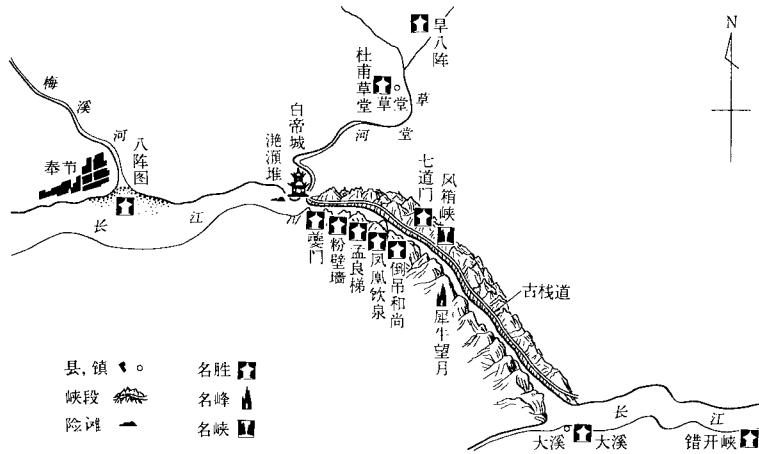


図-3 瞿塘峡

岩からなる背斜褶曲を河が切り刻んで、急峻な壁をもつ深い谷を形成している。峡谷の鳥瞰図(図-3)によると、川は絶壁の間を曲がりくねる細糸のようにみえる。巫峡は大寧河の合流点から湖北省の官渡口(Guangdukou)までの45 kmで、3峡の中で最も長いから大峡とよばれ、

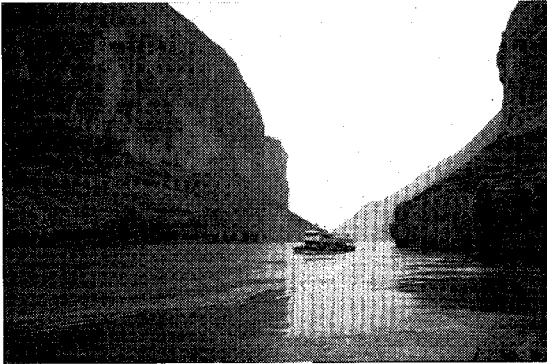


写真-1 瞿塘峡



写真-2 西陵峡

加うるに景色も一番優れている。ここでは入口の河幅は広く、洪水期の水面幅は700 mから800 mにも達するが、その下流では100 mから200 mにまで狭まる。狭窄部のために、年間50 mにも達する水位変動が現われる。西陵峡は香溪と南津関とを結ぶ66 kmの区間で、その風景は写真-2に示される。この谷は東と西に分かれ、その間に長さ31 kmの幅広い廟南谷が存在する。西陵峡では無数の砂州が形成され、河水は奔流となって回転しながら流れ、渦やボイルが一面に現われる。昔はこの峡谷を旧式の舟で下ることは恐ろしく、また危険であったから、夜間の航行は全く不可能であった。三峡の流れは概して急流であり、しばしば激流となる。中国の偉大な詩人李白(Baili)がこの有名な川筋を歌っているのは、三峡の早船についてである^{注1)}。

朝辞白帝 彩雲間
千里江陵 一日還
兩岸猿声 啼不住
輕舟已過 万重山

大規模な三門峡事業が西陵峡に計画されている。発電容量は13 000 MWを上回り、ダムを通過させるために船を107 mも揚げる予定である。三門峡地域の気候は温暖・湿潤であり、柑橘類の育成に適し、この地方特産の密柑は良質である。

(4) 治水と開発

豊富な水と資源に恵まれた大流域をもつ長江は、経済

注1) 技術者である著者には、この詩を忠実に英訳するだけの文才はないが、詩の大意は次のとおりである。

朝日に彩られた雲間から望まれる山上の町白帝城を後にして舟に乗った。

千里を下って日没前に江陵(現宜昌)に着く。

その間、兩岸の岩壁からの猿の声がどこまでも追いつけてくる。

舟は木の葉のように浮かびながら、無数の山々の間を過ぎていく。

発展の大きな可能性を含んでいる。昔は河を制御する適切な努力が欠如していたために、河谷部に住む人達は長い間洪水、浸水、渇水、疫病等あらゆる災害に悩まされていた。特に、低平地を流れる中、下流部でひどかった。そこでは洪水水位が堤内地盤以上に上昇し、降雨後の排水を困難にし、排水不良による内水災害をしばしば起こす。過去にはこの低平地に住む吸血虫病が広く流行した。1949年以降、中国政府は長江の系統的な治水と開発の総合計画を着実に実施してきており、大きい成果を挙げている。

a) 洪水制御

本川の両岸3600 km以上、支川およびいくつかの湖岸を併せた3万 km以上の堤防が補強・嵩上げされてきた。その結果、大半の堤防は現在では1954年の最大洪水水位より1 mないし1.5 m高い天端をもつ。さらに、数多くの遊水池が洪水の転流や貯留のために作られた。荆江遊水池、杜家台 (Dujiatai) 遊水池および多数の湖での洪水貯留事業がその例である。全洪水貯留能力は500億 m³であり、これが洪水水位および洪水危険度の低下にきわめて有効であることが実証されている。

荆江遊水池の面積は920 km²で、1952年に造られた。荆江の西岸に位置し、西は虎渡河 (Hudu), 南は安賢河 (Anxian) が境をなし、北縁に河から導水させるための長さ1054 mの余水吐があり、南縁には長さ366 mの調節構造物が築造されている。設計洪水貯留量は60億 m³であり、荆江北部の大平野の大人口と農地を守るのに役立っている。図-4にこの遊水池の構成が示される。1952年以降池の周りに水制が設置され、また緊急避難

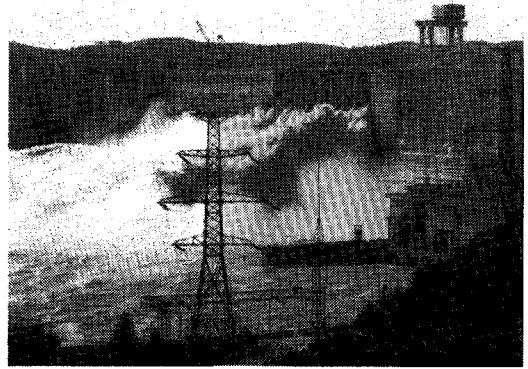


写真-3 丹江口ダム

所をとりまく水制が完成するとともに避難台地が築かれた。荆江遊水池は1954年の洪水時に有効に機能し、本川水位を堤防天端以下に抑えるのに役立った。

全流域の保全事業の一環として、おびただしい数のダムが支川に建設され、洪水調節のための総貯水容量は920億 m³以上になる。たとえば、漢江の丹江口 (Danjiangkou) 貯水池は1960年代に建設された貯水池の中で最大級のもので、洪水時最高水位は161.3 m、それに対応した貯水容量は210億 m³である。ダムの堤頂長は2494 m、堤高は97 mである (写真-3)。このダムによって、100年確率洪水が発生しても下流域は安全である。さらに、15億 m³の灌漑用水が24万 haの農地に供給され、1983年までに524億 kwhの発電が行われた。

b) 灌 漑

長江流域における灌漑の歴史は古く、最初の頭首工が作られたのは二千年も昔であるが、今なお良好な機能を発揮している。これは四川省の岷江にある都江堰 (Dujiangyan) 灌漑頭首工で、水理技術者の工夫を凝らした技とよぶにふさわしく、十分な水が取り入れられ、しかも流送土砂 (主として掃流砂) を少なくすることを目指した全体の構成は、流砂に関する近代知識にかなっている。取水は凹岸で行われ、写真-4および5に示すように、頭首工は島の中ほどに造られた流線形先端をもつ導流堤 (魚咀 fish mouth), 主水路の入口にある非調節型取水口 (宝瓶口 neck of precious bottle), 導流堤すなわち魚咀の先端と取水口との間の島に設けられた多くの側水路型余水吐から成る。これらの余水吐の1つは側水路型排砂工 (飛沙堰 weir of flying sand) の役目をする。理に適った設計と絶え間のない保守のおかげで、この構造物の機能は維持されており、事実1949年以來この堰からの取水による灌漑面積は133000 haから568700 haに増加し、食用作物の収量も3000 kg/haから9000 kg/haに増加している。近年、8径間、長さ120-mの調節堰が魚咀のやや下流に岷江を横断して設け

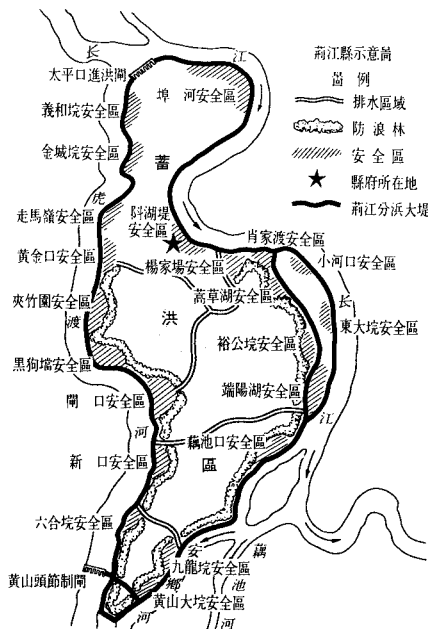
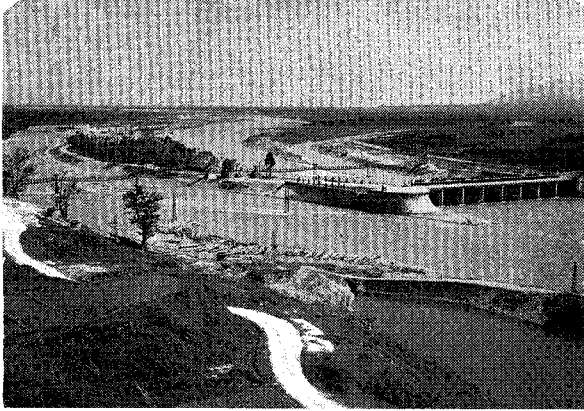


図-4 荆江遊水池



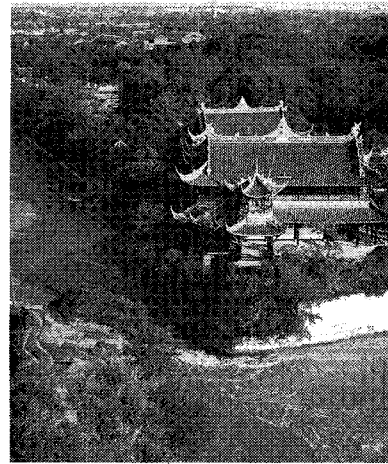
写真一四 都江分水堤

られたが、これは水位を高くして、より多量の水を確保し、成都や温江（Wenjiang）の都市用水の需要に応えようとするものである。

ここ30数年の間に、おびただしい数の貯水池やポンプ場（灌漑や排水のため）が稼動している。その結果、被灌漑農地は1500万haとなり、長江流域内の全耕地の61%にあたる。最大のポンプ場は江蘇省の揚州（Yangzhou）に近い江都事業である。これは使用電力49800kWの33台のポンプを備えた4つの機場で、400m³/sの能力がある。また、付属施設として、12の制水堰、5つの閘門、2つの運河が造られた。この事業は長江と淮河の流域間相互に水輸送を行って、都市および農村の用水補給ならびに灌漑、排水、舟運を併せ行うものである。この事業による総灌漑面積はほぼ70万haにもなる。これはまた南水北調工程大計画における最初の幹線、東線方案である。この計画では3つの案が検討されている。そのうち東線方案は、その出発点として江都事業を必要とし、既設の大運河を広げて水を北へ運ぶが、そのためには数多くの新しいポンプ場を建設しなければならない。この案の第1段階では、水は黄河の南岸まで運ばれ、さらに北への水の供給は第2期事業とされる予定である。中央および西線方案は、それぞれ三峡貯水池およびそれよりさらに上流から出発するものであるが、これらはあまりにも壮大な計画であるから、中国経済がもっと発展するまでその建設は見合わせなければならないであろう。

c) 水 力

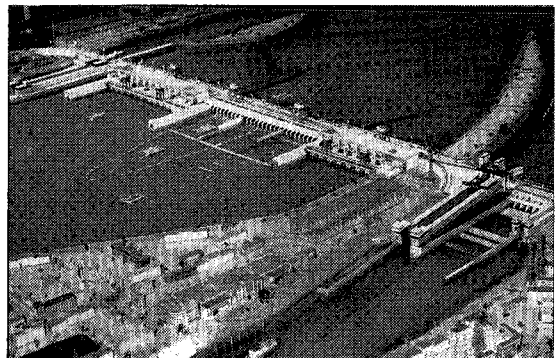
前述のように、長江流域の水力は非常に豊かである。1978年末までに出力0.5MW以上の運転中あるいは建設中の水力発電所の数は1200であった。これらの総設備容量は13000MW、年間出力は610億kwhである。この中で最大のものは工事中の葛洲ダム（Gezhouba）開発であり、その発電所は本川の三峡出口付近に位置す



写真一五 宝瓶口

る。ここで河川は急曲して南流し、河幅は300mから2200mに広がり、拡幅部に葛洲ダムと西ダム（Xiba）の2つの島があって、河を3本の流路に分けている。この事業の主要施設は2つの発電所上屋、余水吐、2つの水門、3つの閘門および非越流型の翼壁である。ダムは堤頂長2595m、天端標高70mであり、貯水池の容量は15.8億m³、集水面積は100万km²である。発電所の設備容量は2715MW、年間出力は140.9億kwhであり、葛洲ダム発電所は現在中国で最大の水力発電所である。写真一六はこの発電所の全景である。他の既設の大発電所は表一七に示すとおりである。

最近完成した烏江渡水力開発事業はカルスト地形上に建てられたものとしては、これまでで第一級の大型プロジェクトである。ダムはアーチ重力式で、堤高165m、貯水池容量23億m³である。総設備容量は630MWで、年間出力は33.4億kwhである。ダム地点での集水面積は27790km²で、24000m³/sまでの洪水をダムから放流できるが、ダム地点での谷幅は70mに過ぎないから、余水吐と放流工の最大単位幅流量は200m³/sを越



写真一六 葛洲ダム

表一 支川における大規模水力発電所

開発名	設備能力 (MW)	ダム高 (m)	貯水容量 (10 ⁶ m ³)
丹江口 (Danjiangkou)	900	97	20 886
龚咀 (Gongjui)	750	85.5	357
烏江渡 (Wujiangdu)	630	165	2 300
柘溪 (Zhexi)	447.5	104	3 570
鳳灘 (Fentan)	440	112.5	1 550

え、最大流速は約 40 m/s になる。高速流が流下するコンクリート面の侵食を軽減するために空気溝が設けられた。

d) 舟 運

長江は水上交通の動脈であり、1945 年以降交通関係当局が航路を計画的に改良・維持してきた。大型海洋船が上海まで航行できるように大量の浚渫が行われ、また蛇行区間すなわち錦江では航路を短縮するため切取工事も実施されている。すなわち、困難な区間を改良するために、5 800 万 m³ の岩を爆破して、188 か所の浅瀬を掘り下げた。いまでは、年中 1 500 t までの船が航行できるようになり、洪水中や平水時には、2 500～3 000 t の貨物を運ぶ艀団が通過する。

3. 黄 河

(1) 流域 (図—5)

前述のように、黄河は中国第 2 の大河で、その源を青海省の標高 4 500 m の高原に発し、青海、四川、甘肅、山西、陝西、河南、山東の各省、寧夏および内蒙古自治区を経て、渤海に注ぐ。その総延長は 5 464 km、流域面積は 75 万 km² である。この流域内には 1 270 万 ha の土地を耕す 8 400 万人の人が住んでいるが、黄河に深いかかわりを持ち、またその影響を受けていると考えられる面積や人口はずっと大きい (たとえば淮河の一部)。これらの点を考慮すると、流域はもっと大きく、面積、人口、耕地はそれぞれ 250 万 km²、1.2 億人および 2 000 万 ha と推定される。広大な流域であるから気象変化も大きく、降水量は南東部から北西部に向かって減

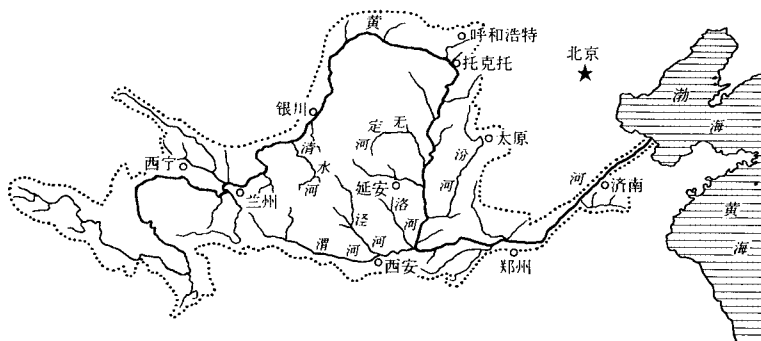
少し、半湿潤、半乾燥、乾燥の 3 つの地帯に分けられる。黄河の流出量も季節によって、また年によって大きく変動する。降雨はしばしば豪雨の形をとるから、黄土土地を激しく侵食し、黄河に大量の流砂をもたらす。

(2) 流 路

水源から内蒙古の托克托 (Togto) までは上流部で、延長 3 461 km、総落差は 3 840 m である。この区間での主な支川は大通河 (Datonghe)、洮河 (Taohé)、湟水 (Huangshui)、祖厲河 (Julihe) および山水河 (Shan-shuihe) である。流砂量は比較的少なく、黄河全体の年間総流下土砂量の 11 % に過ぎない。流量は概して変動がなく、洪水ピークも小さいが、流出水量および包蔵水力は比較的大きく、この区域からの年間流出水量は黄河全体の 56 %、包蔵水力は 60 % に達する。この区間には老羊峽 (Longyangxia)、劉家峽 (Liujiaxia) および青銅峽 (Qingtongxia) といった大型発電所がある。

托克托から鄭州 (Zhengzhou) に近い桃花峪 (Taohuayu) までは中流部とよばれている。河は陝西省と山西省の境および山西省と河南省の境にある峽谷を通過して流れる。この区間での河岸地帯は大部分黄土で、地面侵食がきわめて激しい。この間に合流する主な支川、無定河 (Wudinghe)、延水 (Yianshui)、汾河 (Fenhe)、北洛河 (Beiluohé)、涇河 (Jinhe)、渭河 (Weihe)、伊河 (Yihe)、洛河 (Luohe) および沁河 (Qinhe) での流砂量はおびただしい。中流部の総延長は 1 235 km、集水面積は 36 万 km² であり、その年間流出水量と包蔵水力はそれぞれ黄河全体の 40 % および 33 % である。ここでの洪水は大きいピークを有し、陝県 (Shanxian) を基準点にとると、中流部からの洪水ピークおよび流出土砂量はそれぞれ陝県における値の 83 % および 89 % となる。

桃花峽から河口までの 768 km が下流部に当たる。その流域面積は 22 000 km²、河道沿いの沖積平野の面積は 25 万 km² で、そこに 1 億人以上が住んでいる。この大平野はまた中国の穀倉地帯で、さらに工業や交通網がカ



図—5 黄河流域

なり発達している。この区間の河床勾配は1/8 000と緩やかで、流速が低下するため、鄭州を通過する本川の年間流砂量の約25%が河口より上流に堆積する。その結果、河床上昇を来し、堤防間の高水敷が堤内地の地面より3~5 m高くなっている。場所によっては、その高低差は10 mにも達している。そこで、延長約1 370 kmにわたる堤防によって洪水氾濫を防いでいる。特に、堤防が非常に長い場合は、洪水の攻撃にさらされる堤防を保護することは難しいから、黄河の下流部は大平野の住民にとって生命線である反面、大災害の因であったことが理解できる。過去数千年にわたり1 593件の破堤が記録されているが、これは3年に平均2回の割合で、そのうち26回の破堤では広範囲の氾濫と同時に流路が変わって全く新しい川筋ができていく。ここ35年間の堤防強化の必死の努力によって、河川はその高い水路内に拘束された姿となったが、下流部での河床上昇は一向に止まらず、流砂問題の基本的解決が求められねばならない。河口では鄭州を通過する年間土砂量の約50%が堆積し、そのため年間約3 kmの速度で河口が海側に張り出してきている。年間土砂量の残り、全体の約25%が渤海湾に流入して、沿岸流によって外洋に運ばれる。

(3) 水資源と流砂

黄河の大部分は北部中国の乾燥および半乾燥地帯を流れるが、流域の年平均降水量は478 mmに過ぎない。一方、地面からの年間蒸発量は1 200 mmないし1 400 mmに達する。その結果、年間流出量は560億 m^3 に過ぎず、大きな流域面積の割には非常に小さい値である。長期記録によると、蘭州(Lanzhou)付近の平均流量は1 019 m^3/s 、年間流出量は322億 m^3 で、黄河全体の50%である。蘭州と包頭の間は、灌漑用水としての取水量、蒸発量、浸透量が大きいために平均流量は829 m^3/s に、また年間流出量は292億 m^3 に減少する。包頭と陝西の間には多くの支川が流入するから、陝西における平均流量と流出量はそれぞれ1 305 m^3/s および412億 m^3 にまで増加する。それより下流では支川も少なく、流量は大して変化しない。

黄河流域での降雨は通常6月から9月に集中している。陝西での水文資料によると、11月から翌年の5月または6月までの流出量は比較的少なく、月平均流出量は年間流出量の3%から5%に過ぎない。7月から9月の間は降雨期であるから、ある月の平均流出量が年間流出量の22%になることもある。一般に、7月から10月までの4か月間に年間の60%の流出量が見込まれるが、年によっては70%にまで上がることがある。陝西観測所での流量変動は驚くほど大きく、最低流量は200 m^3/s 以下、長期間平均流量は1 305 m^3/s であるのに、1933年には22 000 m^3/s の洪水が発生している。洪水痕

跡調査や古文書による他の証拠に基づく計算によると、過去に36 000 m^3/s の洪水がここで発生したことが裏付けられる。最近の大洪水は1958年に秦廠(Qinchang)で観測された22 300 m^3/s である。

黄河の下流部での洪水はしばしば豪雨によるものであるが、それでも4つの型に分けられる。すなわち、氷洪水(ice flood)、桃花洪水(peach blossom flood)、夏洪水(summer flood)および秋洪水(autumn flood)である。蘭州から托克托までの区間および花園口(Huayuankou)から河口までの区間は低緯度の地点から高緯度の地点に向かって流れ、流速も小さいという共通の特性をもっている。早春には、これら凍結区間の上流部は低緯度にあるから、より温暖な気候におかれ、氷も薄くて下流部より早く融ける。各区間の上流端での融氷水は流水を伴って、なお結氷中の区間の下流端まで流下してくる。流速が遅いことと浮氷の通過が妨げられるために、川全体を氷が塞いで、その区間に高い背水を生じさせる。流量は少ないのに水位は非常に高くなり、これを「氷洪水」とよんでいる。気温がさらに高くなり、桃の花が咲く頃には氷は完全に融けて、「桃花洪水」とよばれるそれほど大きくない洪水が発生する。「夏洪水」は通常7月と8月に起こる。原則として、この期間の降雨は強く、豪雨を伴う暴風雨となるから洪水は高いピークをもち、下流部に重大な脅威をもたらす。9月および10月には、ある地域の雨は洪水になるほど強い場合があり、「秋洪水」とよばれる。後の2つの型の洪水が黄河の主要洪水を形成し、その洪水流量は通常4 000から5 000 m^3/s であるが、10 000 m^3/s に達することもある。こうした洪水は次の3つの地域のいずれかから出てくるものである。すなわち、(1)陝西省と山西省の間の禹門口(Yumenkou)より上流域、(2)支川の涇河、渭水および北洛河の流域、(3)陝西と秦廠の間の流域である。これらの地域は夏と秋にたびたび豪雨に見舞われ、植生に乏しいので、激しい地面侵食を受ける。概して、大洪水はこれらの地域の豪雨によって起こるので、3つの地域の全部あるいはどれか2つからの洪水ピークがほぼ同時刻に本川で合流するなら、異常な洪水が発生するであろう。1933年の22 000 m^3/s の洪水はこのようにして起こったものである。

a) 流砂

河南省(Henan)の陝西の水位観測所で収集された資料によると、長期間平均流砂濃度は34 kg/m^3 であり、最大濃度594 kg/m^3 が観測されている。この地点を通る年間流砂量は最小6.9億tから最大29.5億tまで変化し、平均は13.6億tであって、密に充填した場合9億 m^3 の体積の土砂に相当する。

土砂の生産源は中流域で、大部分の支川が黄土台地上

を流れる。黄土は炭酸カルシウムで緩く結合された大部分がシルトの大きさの粒子が堆積したものであり、0.002 mm より細かい粘着性粒子はわずか 10~20 % 含まれるだけである。0.002 mm から 0.05 mm の範囲の極微細砂とシルトの量は 60~70 %、また炭酸カルシウムの含有率は 10~15 % である。黄土は一般にはほぼ均質で固結しにくく、また炭酸カルシウムは幾分水溶性をもつから、黄土は完全な侵食性土である。さらに、鉛直毛管作用と表面剝離および 40~50 % の高い空隙率が黄土の特徴で、そのため表流水は鉛直毛細管を通して容易に浸透し、炭酸カルシウムを溶解して土壌組織を分解するから、深部の土の透水性は小さくなる。これは表面流出、したがって土壌侵食を増大させる役割を果たす。このように、黄土の性質がそれ自体を激しい侵食にきわめて敏感なものとし、黄土台地から多量の土砂を生み出すことになる(図一六参照)。その結果、本川の中流部に注ぐ支川での流砂濃度は非常に高い値に達する。たとえば、涇河と北洛河での平均流砂濃度はそれぞれ 161 および 717 kg/m³ であるが、それぞれの最高濃度は極超濃度として知られる 984 および 1 342 kg/m³ という驚くべき値である。皇甫川(Huangpuchuan)、無定河(Wudinghe)、窟野河(Kuyehe)等の小支川では、1 000~1 500 kg/m³ の濃度がしばしばみられる。調査によると、黄河下流の流砂量の 75 % は中流部兩岸の黄土台地から供給されるものであり、黄土台地での土砂生産率は年間 4 000~25 000 t/km² の範囲といえる。

極超濃度の流れは予想できないような挙動を示す。たとえば、緩勾配の水路を 200 km の距離にわたって堆積することなく輸送される。一定の条件の下で極超濃度の流れは振動する。ある範囲の流れが停止するようになり、実際上河を塞ぐことになる。しかし、上流の流れは流下し続けて、この閉塞区間の上に乗り上げるから水位は上

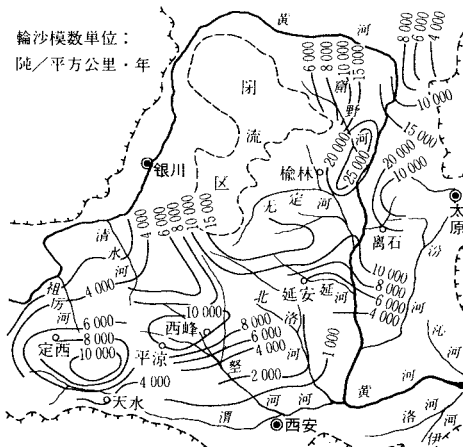
昇する。しばらくして、閉塞部が再び流れはじめ、水位は急激に低下する。「閉塞」はまた高水敷の上だけに発生する。この場合、高水敷上の水は主水路に集まるように絞り出されるために、土砂が沈積することになる。極超濃度の流れはまた河床を剥がす不思議な力を発揮する。すなわち、河床が 1 枚ずつ剥がされる。目撃者によると地面が薄板状に持ち上げられ、瞬時にその上端が水面上 2~3 m 立ち上がり、次いで音立てて水をはね上げながら壊れて、流水中に崩れ落ちる。この過程が数 km の範囲で繰り返されるのが観測された。こうした「閉塞」や「剝脱」といった不思議な現象は、1977 年黄河本川の潼関(Tongguan)下流部で 2 回も起こっている。駕部(Jiabu)の水位は流れの振動によって最初わずかに低下し、次いで 1.5 時間のうちに 2.84 m まで上昇した。上流での分水量を増加させると、極超濃度の流れはより小さな洪水で、したがってより頻繁に起こるものと考えられ、堤防に対する新しい危険性が予想される。

(4) 治水と開発

黄河の制御は長い間中国人民の真剣な願いであった。過去 36 年の間に、治水のための大変な努力が政府によってなされた。河川全体の治水・利水の総合計画として、洪水調節、灌漑、水力発電を含む計画が作成された。ここ 36 年間に洪水制御のための投資だけで 36 億元にのぼる。

a) 下流部に対する洪水防御工事

下流部についての最重点は洪水防御におかれてきた。過去 36 年間に、堤防は一様に 2~6 m 嵩上げされて高さ約 10 m になるとともに、堤防幅も大きくなり、現在の天端幅は 7~15 m になっている。600 km 以上の堤防について河から泥あるいはスラリーをポンプで堤内側へ汲み上げ、裏のりに沿って 50~100 m 幅に堆積させ、小段を作って堤防を強化した。こうして 330 km 以上にわたり高さ 2 m 以上の補強小段が出来上がった。さらに、壊れやすい部分には高りんの根で作った大きい俵でのり面を保護している。これは堤防保護に有効であるが、耐久性に乏しいので、永久使用にはほど遠い。このため高りんの保護工は、短水制と割栗石に換わるようになり、全体で 300 km 以上の石張護岸と 5 000 基の短水制が施工された。主流が横断方向に偏るのを防ぐために、170 か所で高水敷保護のための護岸が、3 000 以上の短水制とともに作られた結果、安定した流向が確保されるようになった。加えて、余水吐と堰を有する洪水調節池が多数利用されるようになった。本川における三門峽(Sammenxia)、支川における陸渾(Luhun)のような大ダムが完成した。これらすべての洪水防御工は北中国平野の浸水防止に非常に重要な役割を果たしてきた。たとえば、1958 年に黄河は異常洪水に見舞われ、花園



図一六 黄河中流の年間土砂生産量 (t/km²)

口でのピーク流量は23 000 m³/sに達し、鄭州での黄河橋の2径間が押し流された。その際、人民は敢然と難局に当たり、堤防を盛り上げて洪水としのぎを削った。結局、激しい闘いの後に河川が競いに負けて、堤防内に引き留められた。1982年花園口で再び15 300 m³/sの大洪水が起こった。種々の理由で花園口と孫口(Sunkou)の間の水位は、1958年のときより1 mほど高くなった。このときには陸渾貯水池が働いて、ピーク流量を20%低減させ、また東平湖(Tongping Hu)調節池も機能して、4億m³の水が本川から導入された。これらの処置によって洪水は安全に海に導かれた。事実、この20年間で、10 000 m³/sを超える9つの洪水は安全に黄河を流下している。もし、これらの洪水が昔のように破堤氾濫していたならば、その被害は250億元、すなわち中国政府が過去36年間に治水に投資した金額の7倍は超えていたと考えられる。

b) 灌漑と沈泥

農地灌漑のための黄河からの取水は随分昔に始まった。最初は上、中流部の州や自治区、すなわち現在の青海、寧夏、内蒙古、甘肅、陝西に限られていた。1949年以来寧夏省では多くの水路網が建設されたり、修復されたりした。内蒙古、青海、甘肅、陝西では新しい水路がたくさん造られた。その結果、灌漑面積は急速に増加し、花園口より上流の総灌漑面積は360万haに達する。しかし、さらに注目すべきことは黄河の導水が農地灌漑と沈泥による土地改良の両方を目的とすることである。

黄河の下流部では流砂濃度が高く、河床が堤内地より高いから、泥流を堤内地に導いて沈泥させるのは容易である。過去35年間の実験や調査によって黄河からの土砂含有水をうまく灌漑—沈泥化する実用手段がしだいに確立されてきた。下流部の河道沿いに72の水門付頭首工と55のサイフォン式取水工があって、4 700 m³/sの取水能力があり、総面積186万haに及ぶ90の灌漑区域が計画された。

c) 土壌および水の保全

黄土土地の全面積は60万km²で、黄河の大流砂量をもたらす主な源泉である。台地は固結度の低い黄土に厚く覆われ、急勾配で植生に乏しく、また短期間に強い雨が降るのが特徴である。この地域における重要な問題は、いかにして良好な土壌保全を行うかである。ここ数十年の土壌保全の経験によって、小流域について農業、森林、牧草および水資源の包括的管理を行うのが正しい戦略であることがわかった。

1949年以降、まずガリや溪谷の小試験流域、たとえば韭園溝(Jiuyuangou)、南小河溝(Nanxiaohegou)、王家溝(Wangjiangou)、紙坊溝(Zhifangou)等で包括的流域保全に成功した。南小河溝を例にとると、流域

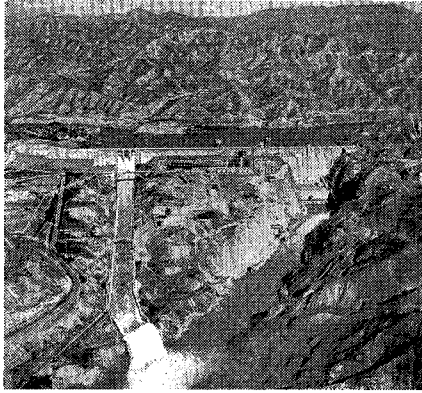
面積は36.8 km²で、保全の目標はガリの間の尾根部を保護するために、ガリの成長を止めたり緩めたりすることである。雨が地中に浸透する機会をより多くするために深い耕地をもつ等高線農法が実施され、貯水のために池、水槽等あらゆる種類の貯水施設が作られている。ガリの頂部がそれ以上地面にくだんでいくのを防ぐために、工学的および生物学的対策がとられている。ガリの土縁に沿って土手を築いてガリに水が流れ込むのを抑え、斜面には木や草が植えられている。支障のない限り、斜面に果樹園が作られている。ガリの底には階段状の堰を設けて、貯水とともに土が流れないように工夫している。1983年までにガリによって占められる面積の43%と尾根部の57%に上記の保全工事が施された。農業、林業および牧畜による流域の年間所得は、1954年の394 400元から現在103万元に増加した。この初めての成功に続いて、1 800以上のガリに同様な処理を施した。近年、農村地域の改革によって新しい制度的、経済的な社会構造が生まれた。ガリ小流域の管理・保全は今では個々の農家との契約に委ねられている。上、中流部の州や自治区には100万以上の農家が政府と契約を結び、ガリ流域の保全事業を遂行している。最後に、ガリ小流域の適切な管理によって一定面積の水と土の保全が10年から20年で事実上達成されたという多くの実績があることを述べておきたい。

d) 水力開発

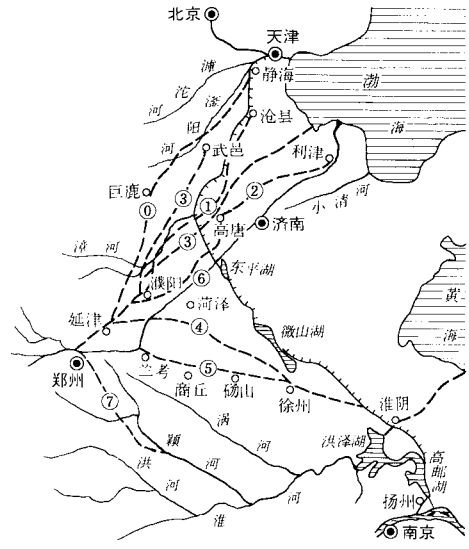
先述のように、黄河上流部での総落差は3 840 mであり、良好なダム地点となる峡谷がたくさんある。黄河全体の開発可能水力は28 000 MWで、そのうち12 600 MWが上流部に見出され、水量が豊富で流砂が少ないこの区間は水力の宝庫である。

1949年以降、155の中規模および大規模貯水池が築造され、その総貯水容量は536億m³に達する。また、80の水力発電所が建設され、その総設備容量は2 540 MWである。これらの発電所のうち、最大のものは劉家峽(Liujiaxia)の1 225 MW、塩鍋峽(Yianguoxia)の352 MW、八盤峽(Bapanxia)の180 MW、青銅峽(Qingtongxia)の275 MWである。劉家峽ダムは多目的ダムで、水力発電に加えて洪水調節、灌漑、浮水貯留、舟運増進および漁場経営のための容量を備えている。ダム(写真一)は堤高147 m、堤頂長はウイングダムを含めて840 mであり、総貯水容量は57億m³である。年間発電電力量は53.3億kwhで、これによって甘肅省と寧夏および内蒙古自治区の必要エネルギーがまかなわれる。

工事中の大型発電所は老羊峽(Longyangxia)で、ダムは高さ178 mの重力式ダムであり、貯水容量は247億m³である。総設備容量は1 270 MW、年間出力は60



図一七 黄河の変遷



- ① 禹河道
- ② 公元前602年(周年王五年)
- ③ 公元1194年(金明昌五年)
- ④ 公元1048年(宋庆历八年)
- ⑤ 公元1494年(明弘治七年)
- ⑥ 公元1855年(清咸丰五年) 现行河道
- ⑦ 公元1938年(民国二十七年)

写真一七 劉家峽ダム

億 kwh となる。上流部にはさらに同じ規模の5つの発電所が計画されている。

黄河の中流部では托克托から老門 (Longmen) までの 757 km の区間の落差は 607 m である。8つの水力発電所が階段状に計画され、4 400 MW の容量で、年間出力 170 億 kwh が開発される予定である。また、中流部の潼関 (Tongguan) から花園口の間 263 km で 236 m の落差があり、この区間の開発によって 1 900 MW を発電し、年間 85 億 kwh の電力を供給できることになる。

4. 結 論

長江、黄河ともに上流区間はかなり似かよっている。ともに流砂量は比較的少なく、水力は豊富である。中流部に来てから両者に違いが出てくる。黄河の中流では、周囲の黄土台地からおびただしい量の土砂が流れ込み、世界中で最も高濃度かつ最も多量の土砂を運搬する河川となる。中流部で供給された高濃度の多量の流砂が下流に運ばれ、下流部での流れの挙動を支配する。すなわち、昔はしばしば破堤、氾濫して、新しい流路を作り出した。1949年以前の過去 4 000 年間は、下流部はやたらとうねり、南部の淮河水系と北部の海河水系との間の大きい扇状地を押し流した (図一七)。このため北中国平野は度重なる災害に見舞われ、肥沃な黄河流域はかつて古代中国文明の発祥地であったにもかかわらず、この黄河下流域は評判の「中国の厄介物」になった。ここ 36 年間に堤防を強化する不断の努力が払われ、黄河の下流部は制御されるようになったが、水理技術者はなお潜在的な危険性を十分認識しており、そのため洪水制御は常に黄河下流の調整と開発における最大の関心事となってきた。

長江についても洪水制御は中流部での重要課題であるが、大流量の中、下流部では舟運が重要である。流砂濃度が小さいことが長江の河道形態を黄河のそれとは全く

異なるものにしてている。たとえば、水路は比較的安定していて、河川の大部分で河床は川裏の土地より低い。しかし、このことで流砂問題が長江では重要でないということにはならない。長江でも流砂問題は重要であるが、黄河とは異なり、たとえば、その研究課題は通常低濃度のみを対象とし、高濃度の問題はいくらかの山地河川にみられる泥流を除いて重要ではない。

濃度よりむしろ輸送される総流砂量に左右される流砂問題がある。その例として河口での海浜過程がある。長江の河口に堆積する年間土砂量は 5 億 t、一方黄河の河口での堆積土砂量は 7.5 億 t と推定されるから、両河川の河口ではともに海浜過程が活発であることがわかる。

謝 辞：劉樹坤氏の協力に対して深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 長江水利略史, 水利電力出版社, 1978.
- 2) 黄河の治理と開発, 上海教育出版社, 1984.
- 3) 荆江分洪, 湖北人民出版社, 1955.
- 4) 江都排灌站, 水利電力出版社, 1974.
- 5) 中国大ダム
- 6) 三峡大観, 長江流域規画辦公室編, 水利出版社, 1983.
- 7) 張 昌齡・顧 文書: 長江規画和黄河規画的比較, 「長江規画問題」, 電力工業出版社, 1957.

(1985. 5. 27・受付)