

## 揚子江中流の地質構造と三峡ダム

(ポストコングレスツアー T-369報告)

### Geological structures of the Yangtze Gorges and Three Gorges Dam

横田修一郎\*

Shuichiro Yokota\*

#### ツアーの概要

5泊6日のこのコースは、「Environmental and Engineering Geology of the Yangtze Gorges Area」と題するもので、揚子江の船下りによる地質構造と三峡ダム建設工事の見学である。20名あまりの参加者は、日本の他、アメリカ、ロシア、チェコ、フィンランド、エクアドルであった。これに数名の中国人が案内者として加わっている。長江水利委員会総合勘测局局長のChen Deji氏と同三峡工程代表局のXue Guefu氏(chief geologist)がその代表である。地質構造の話から水利・設計・施工の話まで2人とも実に知識が幅広い。日本人の内訳は島根大学の横田修一郎・増本 清の2名の他、鹿児島大学の岩松 暉先生と大学院生の福田徹也・鬼頭伸治の2名、さらに日本工営(株)の田倉治尚氏と東洋大学の青木三郎先生の計7名であった。

ところで、揚子江は第1図のように広大なSichuan Basin(四川盆地)を流れた後、Chongqing(重慶)から下流のYichang(宜昌)までの約400kmは山間部を貫流している。この山地は上流のSichuan Basin(四川盆地)と下流のJiangnan Plainを地形的に分けるもので、峡谷に沿って先カンブリア界からジュラ系までの様々な地層がみられることでも有名である。この地域には、またNE-SWに軸をもつ多くの背斜・向斜構造が発達し、Upper Yangtze Platform Fold Beltとよばれている(第2図)。峡谷の下流部にはこれらの基盤となる花崗岩類と変成岩類の複合岩体が現れている。

三峡ダムはこの峡谷出口(Yichangのすぐ上流側)で本流を堰き止めるものである(第2, 3図)。発電、船舶交通、洪水調節等を目的に掲げた巨大ダムの貯水池は峡谷に沿って上流はChongqing近くまで及ぶ。工事はすでに開始されているが、環境問題で世界中から注視されているのはいうまでもない。ツアーは上流の

Chongqingを起点に貯水池となる峡谷をへてダムサイトまでである。

#### ダム貯水池となる峡谷部

Beijing(北京)で集合の後、空路Chongqingに到着したのは8月15日の午後1時すぎであった。空港から高速道路で市内へ移動し、時間調整を兼ねた観光をへて揚子江岸の重慶港に到着したのは午後10時。ただし、予定の船はまだ到着しておらず、待合室で待つこと2時間あまり。日付がかわってからの乗船は待合室横のケーブルカーで川岸斜面をすべりおりることではじまる。船は夜の揚子江を走り出す。

夜明けにFengdu(圭都)に到着。鬼城(ghost temple)とよばれる明代から清代に作られた道教のお寺の周辺は赤色を帯びたジュラ系の砂岩・泥岩で、水平～緩傾斜をなしている。山地になるともう少し地層は急傾斜になるかと思っていたが、このあと10°以下の緩傾斜が続く。結果的には下流に行くにつれて少しずつ傾斜を増し、三峡とよばれる峡谷部にいたってはじめて40～50°の急傾斜が現れた。

Fengdu付近の揚子江水位はEL.180m前後で、貯水池の末端部になる。ここから下流のダムサイトまで両岸斜面には大小様々な崩壊・地すべり(第4図)が見られるとともに、不安定性評価のランク区分がなされている。

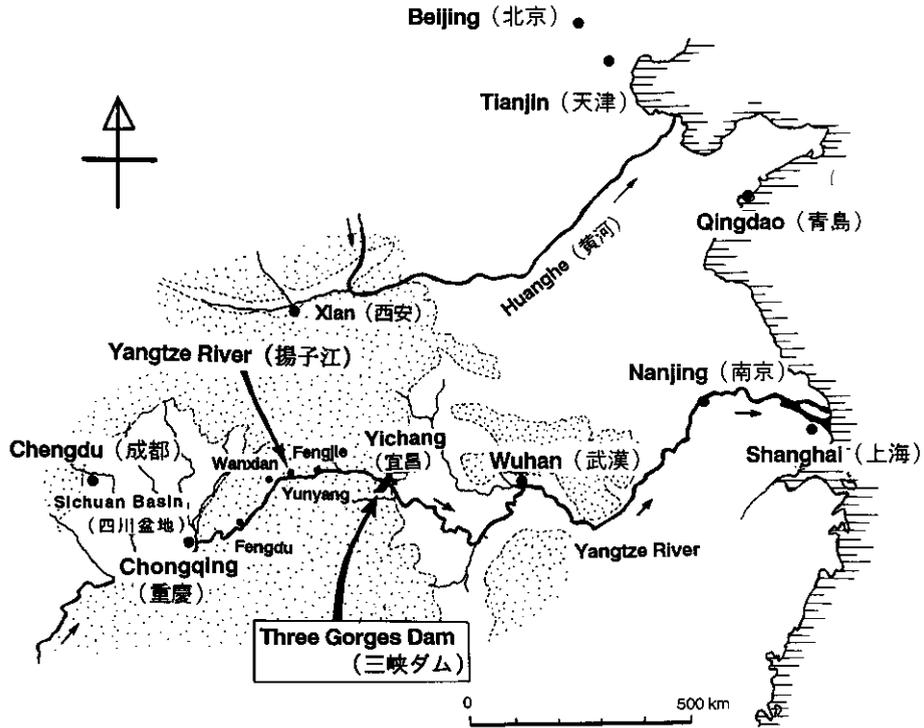
夕方、ChongqingとYichangの間の最大の町Wanxian(万県)に到着。人口数十万はありそうなこの町も、川沿いの大部分は水没するはずである。住民移住の事務所らしい建物も見られた。古くから港町であったようで、詩人李白の足跡もある。揚子江沿いの町はどこも河岸から石段と坂道が続く。

翌日(8月17日)、Yunyang(陽雲)にて下船。2台の大型ジープにてフェリーで対岸(南岸)に渡り、揚子江岸のJipazi地すべりをみる。上部ジュラ系Penglaizhen累層の砂岩・泥岩互層が基盤であり、層理面の川側への傾斜は緩いが部分的には30°以上になって

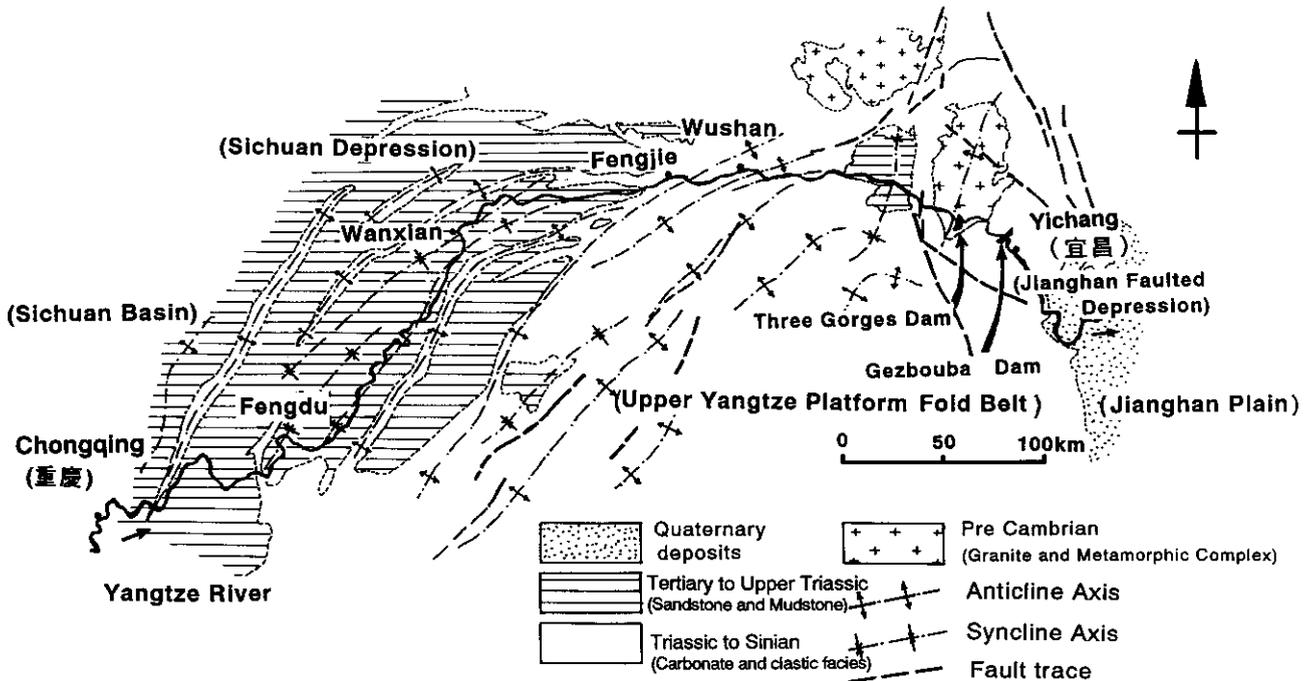
1996年11月26日受付、1997年1月28日受理。

\*島根大学総合理工学部地球資源環境学教室

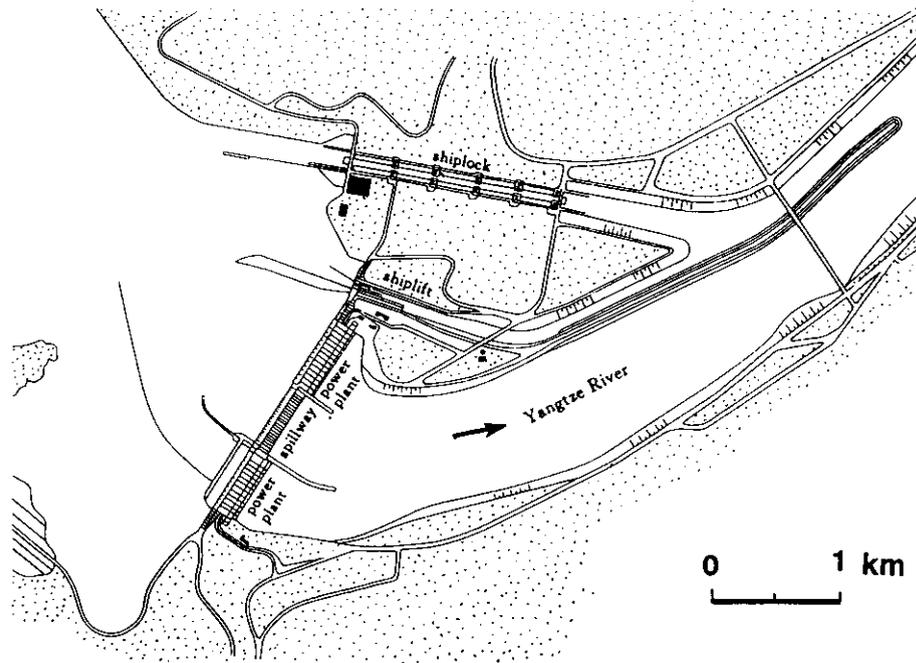
Department of Geoscience, Faculty of Science and Engineering, Shimane University 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690, Japan



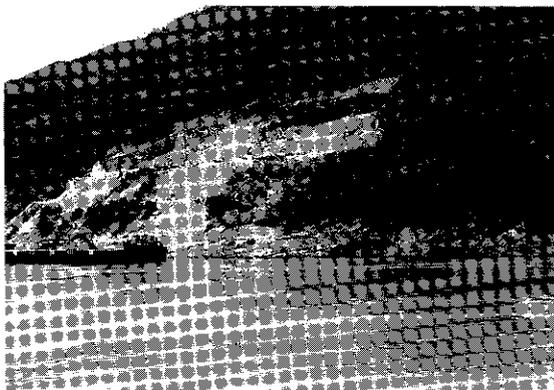
第1図 ツアー(T369)のコース概要。  
網目は山地または台地部



第2図 峡谷部の揚子江に沿った地質構造の概要  
(Liao et al., 1996に基づく)



第3図 三峡ダムのダムサイト平面図  
(China Yangtze Three Gorges Project Development Corporation, 1996に基づく)



第4図 揚子江に沿った小規模な斜面崩壊

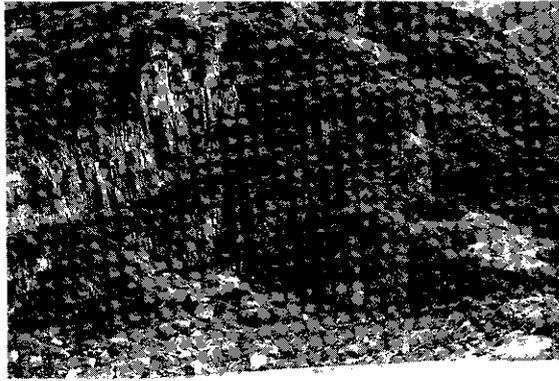
いる。この山腹斜面で1982年の7月18日に地すべりが発生し、移動土砂の一部は揚子江に流れ込んで航路を妨げたということであった。浚渫はその後も続けられている。地すべり頂部はEL.400m前後(揚子江水面は同約100m)である。発生2日前の330mm/28時間という豪雨が直接の誘因のようである。このときの移動土砂 $19 \times 10^6 \text{ m}^3$ のうち $2.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ が川に流入したと推定されている。植生が少ないこともあって滑落崖や移動土塊はよくわかるが、末端部は現在では一応安定しているらしい。

午後はFengjieで小舟に乗り換え、Baidichen(白帝城)を見学。河岸から100m以上も石段を登らねばなら

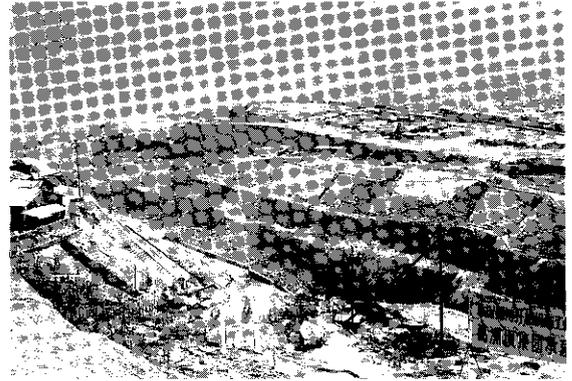
ない。途中に杜甫の石像などとともに「三峡ダム貯水位EL.175m」の表示がある。稜線部に白帝廟があり、劉備玄徳や諸葛孔明らの実物大の人形が展示してある。この周辺(Baidi City)の地層には石炭層が挟まれているらしく、石炭の積み込み風景も見られる。このあと、船はいよいよ三峡の1つQutang Gorgeにさしかかる。それまで緩傾斜であった地層が急傾斜になり、流路に斜交する背斜・向斜構造が夕靄のなかで良く分かる(第5図)。この日はWushan(巫山)に停泊する。

翌日(8月18日)は早朝から小舟に乗り換えて小三峡(Lesser three gorges)を見学。これは揚子江支流のDaning川に沿って展開するもので、3つのGorgeがある。一部には赤色をおびた泥岩・砂岩のところもあるが、石灰質のところが多く、鍾乳洞も存在する。峡谷部ではいずれも急傾斜になり、その間、背斜・向斜構造が認められる。水面より4~5mの石灰岩岩壁に四角い孔が等間隔で穿ってある。「蜀の栈道」の跡である。

揚子江本流に戻り、第2の峡谷Wu Gorgeを経て、午後はLianziyaの不安定斜面の見学である。小舟に乗り換えて河岸より標高差にして200m以上登る。いくつかのオーブクラックが急斜面に沿って上下流方向に伸びている。ダムサイトから約26kmと近いこともあって、いずれもクラックに沿った変位の観測が行われている。垂直に近い急斜面ではロックアンカー工事が、また河床近くの旧炭鉱坑道内ではプラグ工事が



第5図 峡谷部に見られる背斜構造



第6図 三峡ダムサイト左岸側の巨大な shiplock の掘削

行われている。

最後の峡谷 Xilling Gorge を通過すると、すぐ三峡ダムサイトである。完全に日が暮れた船上からは「開発長江」の文字がかろうじて読みとれるのみであり、ライトアップされた下流のつり橋だけが暗闇に浮かんでいる。夜間になると船上からサーチライトを前方と左右兩岸を照らしながらの航行である。

### Three Gorges Dam(三峡ダム)のダムサイト

8月19日朝 Yichang 港からバスにて三峡ダムのダムサイトへ移動する。中国科学院宜昌研究所の Wang Xiaofeng 先生から広域地質を説明していただく。まず、Sinian(先カンブリア代の震旦系)とカンブリア系との不整合露頭を見学する。道路端に説明の看板が立っている。震旦系はドロマイト(Tianzhushahn member of Dengying Formation)、カンブリア系は剥離性をもった泥岩(Shuijingtuo Formation)である。泥岩の方に多少の剥離性が見られることから、これが本当の不整合面か多少断層ですべったものかといった論争があったらしい。その後、ダムサイトに出てくる花崗岩(Huangling granite 黄陵花崗岩、約800Ma)とそれを覆う砂岩(Liantuo Formation)との関係も見ると、上位の地層には花崗岩の円礫が入っている。

ダムサイトは Sandouping(三斗平)という地点である(第3図)。三峡ダムといっても峡谷部ではなく、川幅は広い。これには石灰岩を含んでいること多い峡谷部を避け、花崗岩よりなる下流域を選んだこと、半川締切(河川を半分ずつ締め切って行う施工方法)のできる水深の浅い区間を選んだこと、さらに船を通す ship lock のつくりやすい地形を選んだことなどが考えられる。

調査・設計・施工はいずれも CWRC(Changjian Water Resources Commission)が行っている。地質的にホルンブレンドを含む花崗閃緑岩であり、片岩等のゼノリスを含んでいる。全部で42の断層が確認されているが、その大半は長さ100m以下ということであった。

風化層は30~48mとされているが、風化部と新鮮な部分とのコントラストは明瞭である。

計画では堤高185m、堤長2,309.47mの重力式コンクリートダムで、700MWの発電機を26台並べ、計1,820万KWの電力を得る。まず、右岸の shiplock の掘削を見学。岩盤掘削はかなり進んでおり、これだけでふつうのダムサイト以上の規模である(第6図)。10,000トン級の貨物船を通すメインの shiplock は上下2線あり、5段で個々のチャンバーは280m×34m×5mである。上流側・下流側のアプローチを入れれば全長は6,442mもある。ダム工事というより運河工事をやっているようなものである。地質的にはあまり問題はないが、しいていえば shiplock の深い掘削急斜面での岩盤の安定性ぐらいである。しかし、標高の高い掘削部分でもB級前後の良好な岩盤でとくにどうということはないし、shiplock に沿っては岩盤中に多数の排水坑を設けて水位変化に備えている。

ダムサイトの地質図は1/10,000のスケールで描かれているが、花崗岩と第四系の分布だけである。地表で確認された南北方向の断層がダムサイトにも現れているらしいが、たいしたものではなさそうである。ボーリング柱状図にはオメガ値とコア採取率が数字で書き込まれている。前者はロシアなどで使われる透水性の指標で、わが国やヨーロッパで使われる Lugeon 値の1/100である。

赤褐色の川を見つめると堆砂が心配になるが、これについても相当研究されているようである。黄河にくらべれば1/10程度らしい。ダムサイト直下流には前夜見た完成したばかりのつり橋が揚子江に懸かっている。これを渡り右岸側に出ると、そこではコッファダムとそれに関連した掘削作業等が行われている。この日は揚子江岸にある郊外の小さなホテルにて宿泊。

### Gezhouba(葛洲壩)ダム

翌日(8月20日)は揚子江サメの養殖場見学後、下流の Gezhouba(葛洲壩)ダムと水力発電所を見学する。

堤長2606.5mで揚子江を堰き止めるこのダムは、1974年に着工、1987年完成である。堤高はよくわからなかったが、水位差は27mである。ここは川幅が広く、もともと2つの小島によって流れが3分していたようである。この調査・設計もCWRCが行っており、これによって三峡ダム建設の基礎的な技術を確かめたようである。地質的にはJiangnan faulted depressionとよばれているところで、基盤は白亜系の砂岩と礫岩、シルト岩である。シルト岩の低い剪断強度と岩盤掘削時のリバウンドによる低角クラックの開口といった問題があったようである。

このダムでも21台の発電機で計271.5万KWを得ている。洪水吐きは最大83,900m<sup>3</sup>/secでsilt slicesを併用すれば、過去最大といわれる1870年の洪水110,000m<sup>3</sup>/secを十分コントロールできるようである。

### おわりに

船下りしたルートは地形的には四川盆地と華南平原を分ける山塊であり、揚子江はここで典型的な先行谷をつくっている。山塊全体を表す適当な山脈名は見あたらないが、下流近くではWushan山地と記されている。

山地部では多数の背斜・向斜構造があり、地層は急傾斜をなしているところが多い。これら褶曲構造の形成は時代的には古いかも知れないが、先行谷の存在とともに、四川盆地側には第四紀に活動している断層も知られていることから、山塊全体の隆起は時代的には新しいであろう。

冒頭で述べたように、ダム建設の目的の1つである船舶交通(navigation)は、我々日本人からすれば想像も及ばないが、揚子江による人・物資の輸送の重要性は現地をみると実感できる。世紀の大プロジェクトは予想以上に進んでいるという印象をもった。計画表によると一連の工事は1992年にゴーサインが出た後、Stage I (1993-1997)、Stage II (1998-2003)、Stage III (2003-2009)に分け、約17年間で完成ということになっている。計画どおりであれば1997年秋には揚子江の一部は閉鎖される。環境問題や資金面などを別として、技術的な問題があるとすれば、それは貯水池内斜面であろうという印象を受けた。

### 文 献

- China Yangtze Three Gorges Project Development Corporation, 1996, *The Three Gorges Projects* 資料, 24p.
- Liao Yanyi, Li Pingzhi and Tan Kaiou, 1996, 30th IGC Field Trip Guide T369: *Environmental and Engineering geology of the Yangtze Three Gorges Area*, 49p.
- Wang Xiaofeng, Bernd-D.Erdtmann, Mao Xiaodong et al., 1996, 30th IGC Field Trip Guide T106/T340: *Geology of the Yangtze Gorges Area*, 73p.

**Key words:** Yangtze River, Gorge, Three Gorges Dam, IGC, Engineering Geology,