

23. “退田還湖”による洞庭湖の遊水池機能回復が長江中流域の洪水防御にもたらす効果

EFFECT OF “RETURN LAND TO LAKE” POLICY AROUND THE DONGTING LAKE ON THE FLOOD PROTECTION IN THE MIDDLE REGION OF THE CHANGJIANG RIVER BASIN, CHINA

林 誠二*・村上正吾**・徐開欽***

Seiji HAYASHI, Shogo Murakami, Kai-Qin XU

ABSTRACT; To evaluate the flood protection effect of the conversion of polders to retarding basin around the Dongting Lake in the middle region of the Changjiang River, China, we applied the integrated watershed hydrological model using gauged daily precipitation data of 1998 when the second largest flood occurred in the basin in the last century. While the estimated storage capacity of the Dongting Lake increased $11.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ by the conversion of polders in comparison with the estimated capacity at the flood period in 1998 at the average water level of 35.0 m, the simulated daily average water levels of the lake showed that the protection of the flood was impossible by only increasing capacity in the confluence between the Changjiang mainstream and the Dongting Lake in case of 1998 flood. The model also simulated that the flood protection was fully achieved at the confluence by making the volume diverging from the Changjiang mainstream to the Dongting lake increase with the diverging ratio at 1950s under the appropriate discharge control by the Three Gorges Dam. These results suggest that “return land to lake” policy around the Dongting Lake probably brings the best flood protection effect when the increased capacity of the lake uses for the control of the water level in the Jinjiang section of the Changjiang mainstream.

KEYWORDS; flood control, water level, Changjiang River, Dongting Lake, hydrologic model

1. はじめに

近年、中国長江流域においては大規模な洪水が頻発している。その要因として、豪雨発生頻度が増加傾向にあるという気候的要因に加え（Su et al., 2005）、森林伐採による土壌保水能の低下と土砂流出量の増大や、干拓に伴う湖の洪水緩衝容量の低下等、人為的な影響が指摘されている（徐ら, 2000; Xu et. al., 2005）。これに対して中国政府は、前世紀 2 番目の規模となった 1998 年の大洪水以後、森林の復元や河道の浚渫、堤防の強化等を主とした 8 つの洪水防御政策を実施し、2009 年に完成予定の三峡ダムの運用と併せた今後の洪水防御を計画している。“退田還湖”は、上記 8 政策の一つであり、湖を干拓して作られた水田を元の湖に戻し、洪水時に遊水池として機能させるものである。具体事例として長江中流域に位置する洞庭湖に関しては、2010 年までに洪水時の水表面積を 1998 年当時と比べて 2 倍とすることが定められている。これにより、湖の貯水容量の著しい増加による洪水発生抑止が期待されるものの、具体的な効果を検討した事例は報告されていない。

本研究では、著者らがこれまでに長江流域を対象に構築してきた分布型流域水文モデルを用いて、大洪水が発生した 1998 年を対象に日単位の降雨流出計算を実施し、洞庭湖周辺の退田還湖による長江中流域での洪水防御効果について定量的な検討を行った。また計算条件として、三峡ダムによる放流量調節や長江本流から洞庭湖への

* (独) 国立環境研究所水士壌権環境研究領域, National Institute for Environmental Studies, Water and Soil Environmental Division

** (独) 国立環境研究所アジア自然共生研究グループ, National Institute for Environmental Studies, Asian Environment Research Group

***中国武漢大学水資源与水電工程科学国家重点実験, Wuhan University, The State's Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science

2. 対象領域の概要

中国

長江流域

長江

三峡ダムサイト

清江

松溪 太平

枝城

澧水

長江

藕池

洞庭湖

沅江

資水

湘江

1: 宜昌

2: 城陵磯

3: 螺山

4: 長陽

5: 石門

6: 桃源

7: 桃江

8: 湘潭

0 100 200 400km

N

図 1 対象領域

3. 流域水文モデルの概要

3. 1 湖流出量推定サブモデル

上流側

合流部 (h_j, z_j)

Ch.1 L_1

Ch.3 L_3

Ch.2 L_2

長江本流

下流側

3

連絡水道

洞庭湖

H_2 (平均水位)

Q_{in1} Q_{in2} ... Q_{ink}

流入水量

$H_1(Q_1, h_1, z_1)$

$H_2(Q_2, h_2, z_2)$

$H_3(Q_3, h_3, z_3)$

h_{3e} 等流水深

B_1 Q_1

B_2 Q_2

B_3 Q_3

1 1' 2 2' 3'

— 136 —

・連続の式

$$Q1 \pm Q2 = Q3 \quad (1)$$

・エネルギー方程式

$$Ch1: \quad H_1 + a_1 \frac{Q_1^2}{h_1^3} - b_1 \frac{Q_1^2}{h_1^3} = H_j + a_1 \frac{Q_j^2}{h_j^3} + b_1 \frac{Q_j^2}{h_j^3} \quad (2)$$

$$Ch2: \quad E_2 = H_j + a_2 \frac{Q_2^2}{h_j^3} \pm b_2 \frac{Q_2^2}{h_j^3} \quad (3)$$

$$Ch3: \quad H_3 + a_3 \frac{Q_3^2}{h_{3e}^3} + b_3 \frac{Q_3^2}{h_{3e}^3} = H_j + a_3 \frac{Q_3^2}{h_j^3} - b_3 \frac{Q_3^2}{h_j^3} \quad (4)$$

ここに、 Q ：流量(m^3/s)、 h ：水深(m)、 H ：全水頭(m) ($H=h+Z$)、 Z ：河床高(m)、 a, b ：係数 ($a=1/(2gB^2)$ 、 $b=fL/(16gB^2)$)、 g ：重力加速度 ($9.8m/s^2$)、 B ：流路幅(m)、 L ：流路長(m)、 f ：摩擦係数 ($f=8gn/h^{1/3}$)、 n ：マンニングの粗度係数、である。なお、各変数のそれぞれの添え字は各流路や合流部を示し、図2に示した表記に対応している。また、式中の Q_i 、 h_i ならびに洞庭湖への河川流入量は、水田水収支サブモデルを結合した HSPF による計算値が用いられる。また、洞庭湖の全水頭については、湖平均水位と等しいと仮定し、湖における水収支と湖の容積-水位曲線式から推定される。洞庭湖の容積水位曲線式は、中国科学院南京地質研究所により 1988 年に作成された縮尺 2 万 5 千分の 1 の湖底地形図を基に、中国科学院地理科学与資源研究所との共同研究により作成された 50 m メッシュ数値湖底高データを用いて推定した。

4. モデル適用方法

4. 1 グループ応答単位 (GRUs) の算定

本モデルを対象領域へ適用するにあたり、流域内の降水流出事象の応答単位として、計算の効率を図りつつ、流域内の地形や土地被覆等の空間分布をできるだけ反映したグループ応答単位 (GRU) の抽出を、地理情報システム上で行った。その手順として、まず、縮尺 5 万分の 1 地形図を基に作成した河川網データと低平地では 50m メッシュ、山地域では 1km メッシュの数値標高モデル (DEM) を用いて、対象領域を 194 のサブ集水域に分割した。次いで、このサブ集水域データに上述の土地利用ポリゴンデータを重ね合わせ、統計処理を行うことにより、各サブ集水域内の土地利用形態別に集約した領域を、GRU としてモデルの流出過程を適用した。なお、本研究では、土地利用を水田域、畑作地、森林域、低木・灌木林地域、草地、市街地、荒地の 8 つに分類した。

4. 2 入力データ

モデルへ入力する気象データは、降水量データと可能蒸発量データである。降水量データは、まず、中国気象局ならびに中国水利部長江水利委員会を対象領域内において観測する計 194 地点の日観測降水量データを基に、空間内挿手法の一つである線形の universal kriging 法を用いて 0.25° メッシュの日降水量グリッドデータを作成した。次いで、上記のサブ集水域が各グリッドに占める面積割合からサブ集水域単位の分布値へ変換するとともに、24 分割し、1 時間データとした。可能蒸発量については、日単位の米国 National Centers for Environmental Prediction (NCEP) / National Center for Atmospheric Research (NCAR) が作成した再解析データ (Kalnay et al., 1996) を使用し、降水量と同じくサブ集水域単位での 1 時間データに変換した。

4. 3 洞庭湖における退田還湖

図 3(b) は、洞庭湖周辺部の退田還湖実施後の遊水池となる地域を示している。これは、退田還湖の対象地域に関する資料 (洪ほか, 1999) と、縮尺 5 万分の 1 の地形図上に記された堤防の位置情報から推定したものである。このうち、退田還湖による水表面積の増加量は $2,896km^2$ であり、公表されている計画値 ($2,785.4km^2$) (洪ほか, 1999) と概ね一致している。更に上記地域について、前述の 50m 数値湖底高データを用いて湖平均水位-容積関係を求めた (図 4)。同図に併せてプロットした 1998 年当時湖平均水位-容積推定曲線 (洪水氾濫地域も含む (図

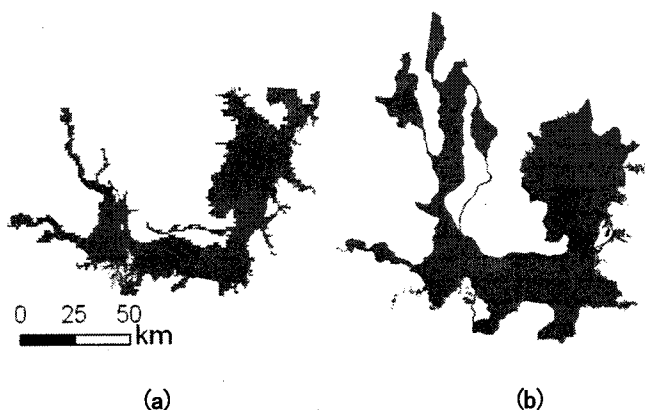


図3 退田還湖実施後の洞庭湖水表面積(最大時)
(a)1998年洪水期の最大水表面積(Wang et al., 2003),
(b)退田還湖実施時の最大水表面積推定結果

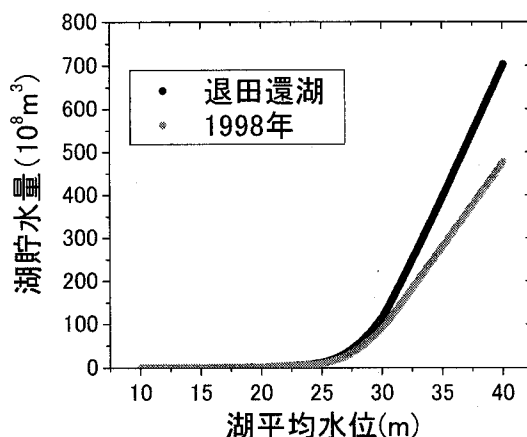


図4 退田還湖実施後の洞庭湖における
水位-容積関係推定結果

3(a) との比較から、平均水位 30.0m で湖の貯水容量が 89.4 億 m^3 から 114 億 m^3 に、同 35.0m で 278 億 m^3 から 393 億 m^3 となり、退田還湖の実施により、洪水期（7 月～9 月）の洞庭湖における遊水池機能が大幅に強化されることが確認された。なお、退田還湖後の洞庭湖の平均水位については図 4 の水位-容積曲線を基に推定し、湖の全水頭として上記連立方程式解法時に用いた。

4. 4 洪水期における三峡ダム放流量調節手法

著者らは、これまでに 1998 年を対象とした三峡ダムの洪水防御効果について検討し、長江と洞庭湖の合流部での洪水氾濫の防止を可能とするダム放流量調節は、ダム貯水容量を上回る可能性が高く、結果として、三峡ダムの運用のみでは、十分な洪水防御が困難であることを指摘している（林ら、2004）。一方、中国水利部長江水利委員会水文局（2000）は、洞庭湖の 4 大支流、湘江（観測点：湘口）、資水（同：桃江）、□ 水（同：石門）、□ 江（同：桃源）、と清江（同：長陽）、長江（同：宜昌（三峡ダムサイト））の観測日平均流量の合計が、58,000-60,000 m^3/s となるように、宜昌より上流の本流の水量を三峡ダムに貯留し、上記 6 地点での合計日平均流量が 60,000 m^3/s 以下であれば放流量を調節しないという操作によって、1998 年の洪水を想定した場合でも洞庭湖との合流部に至る長江本流ならびに合流部においても、定められた洪水警戒水位の超過は生じないと報告している。図 5 は、上記運用方法に則って推定された 1998 年の洪水期における三峡ダム日平均放流量であり、併せて宜昌での日観測流量も示した。なお、本放流量調節によって、三峡ダム貯水位が計画高水位の 175m を超過しないことは、著者らもダムにおける水収支から確認している。本計算では、宜昌での日観測流量と上記ダム日放流量推定値をそれぞれ上流側境界条件として設定した。

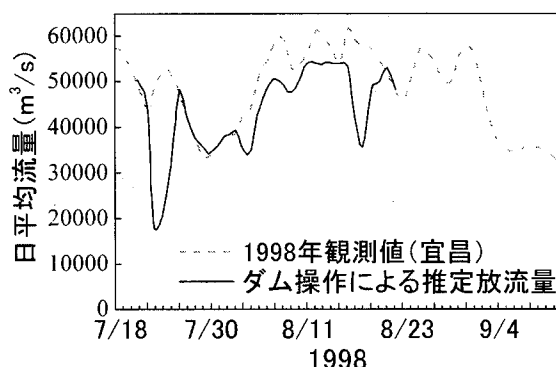


図5 1998年の洪水期における三峡ダムの推定
日放流量推定結果（（長江水利委員会のダム運用
則に基づく）

4. 5 分洪操作

洪水期における長江本流の 3 つの分洪口、松溪、太平、藕池、それぞれから洞庭湖へ分流量合計値の長江本流の枝城（図 1）における観測日平均流量に対する割合は、1955～1966 年で 41.3%、1967～1972 年で 34.7%、1973～1996 年で 27.8%、1998 年で 27.6%であり、年々減少している。これは、土砂堆積による各分洪口から洞庭湖へと繋がる各流路における通水能力の低下が要因である（Wang et al., 2005）。ここでは 1998 年の分洪比を元々の計算条件とし、さらに ‘50 年代（1955～1966 年）と ‘60 年代（1967～1972 年）の分洪比もそれぞれ計算条件として別途設定し、退田還湖や三峡ダムの運用と併せて実施した際の洪水防御効果について検討を行った。

5. 退田還湖による洪水防御効果

1998 年の洪水期における対象領域での、主要支流域からの日単位流出量、洞庭湖水位、洞庭湖から長江本流へ

の日単位流出量及び領域全体での日単位流出量、いずれについてもモデルが高い再現性を示すことが確認され、著者らにより報告されている（林ほか，2004 年，Hayashi et al., 2005）。特に、上記の湖流出量推定サブモデルの導入により、洪水期の長江本流の水位上昇による背水の影響を強く受けるため、急激な日変動を示す洞庭湖の流出特性が再現されることが確認された。これらについては、紙面の関係もありここでは省略し、1998 年の大洪水を想定した場合での退田還湖等の実施による洪水防御効果について以下に示す。

5. 1 長江本流との合流部周辺の洞庭湖における洪水防御効果

ここでは、洪水時の洞庭湖の水面勾配はゼロに近づき、洞庭湖と長江本流を結ぶ連絡水道に在る城陵磯（図 1）での水位とほぼ同じ値となることから、湖の平均水位をもって城陵磯での洪水防御効果を検討するものとする。

なお、城陵磯での洪水警戒水位は、34.40mに定められている。図 6 は、1998 年の洪水期の同地点での観測水位とともに、各条件下でのモデルによる洞庭湖日平均水位計算結果を示している。これによると、退田還湖を実施した洞庭湖のみで 1998 年の洪水に対する防御を試みた場合、最大水位 35.36m、警戒水位超過総日数 38 日となり、合流部周辺の洞庭湖における洪水防御に十分な効果を期待出来ないことが明らかである。三峡ダムによる放流量調節と退田還湖を組合せた場合でも、最大水位 34.75m、警戒水位超過総日数 24 日となり、水位の低下は見られるものの完全には洪水を防御し得ない結果となった。また、分洪比の増加がもたらす

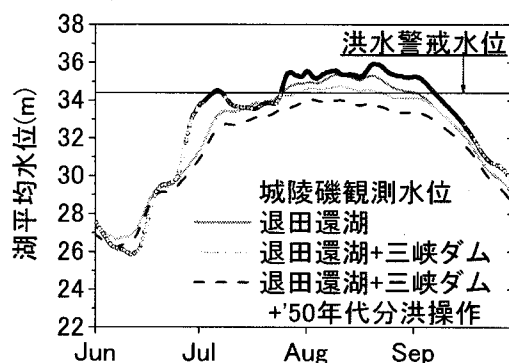


図 6 1998 年洪水期の観測水位(城陵磯)及び各条件での洞庭湖日平均水位計算結果

効果については、60 年代の分洪比を組合せた場合でも、上記洪水警戒水位を超過する結果となった（最大水位 34.70 m、警戒水位超過総日数 21 日）。これに対して今回設定した計算条件の中では、'50 年代の分洪比を組合せた場合のみ、合流部周辺での洪水防御が洪水期間を通じて達成されることが確認された（図 6）。なお、以上からも明らかのとおり計算結果は、長江水利委員会が定めた洪水期の三峡ダム運用方法では、長江と洞庭湖合流部で発生する洪水氾濫を防御出来ないことを示した。これは、上記の同委員会の報告結果と矛盾するものであり、その要因については今後の検討課題となった。

次いで、図 7 および図 8 は、各条件における洞庭湖から長江本流への日平均流出量計算結果と洞庭湖における貯留水量算定結果を、それぞれ示している。1998 年の再現結果と比して退田還湖のみで洪水防御を試みた場合、洪水初期（7 月上旬）における湖への流入量の増加に対して、湖の貯水容量の大幅な増加と貯水に伴う水表面積の拡大により、湖の水位上昇は抑えられる（図 6）。このため流出量は、上流域での流出量の増加に伴い上昇した長江の水位の影響を強く受け、結果的に図 7 の 7 月前半に見られるように抑制されることになる。流出量の抑制は、図 8 に示されるように湖での貯水量の急激な増加をもたらし、結果として、1998 年の洪水時と同程度の湖平均水位の上昇が生じる。これによって、7 月下旬か

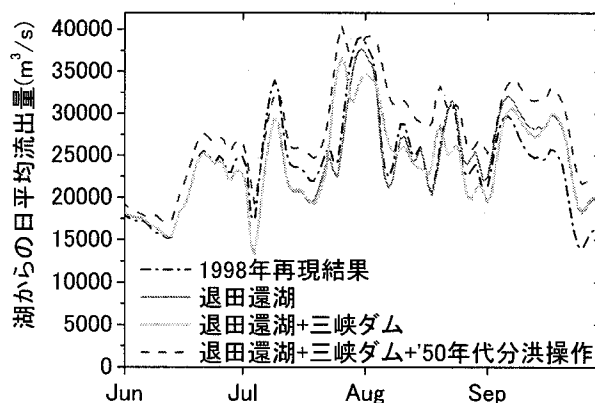


図 7 1998 年洪水期の各条件での洞庭湖からの日平均流出量計算結果

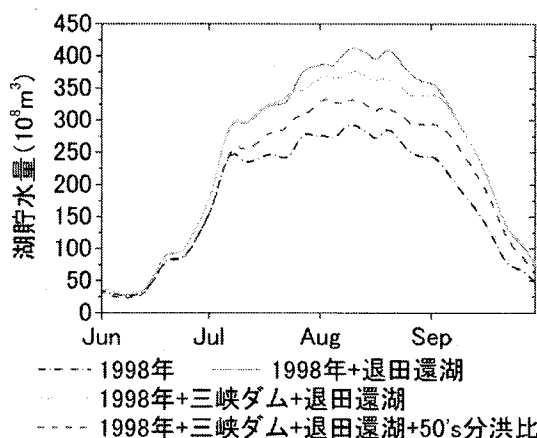


図 8 1998 年洪水期の各条件での洞庭湖貯水量計算結果

ら8月における洞庭湖からの流出量の日変動は、1998年の再現結果のそれと同様なパターンを示すこととなる。一方、図7は、退田還湖のみの場合と比べ、退田還湖に三峡ダムの運用を組合せることで、7月後半から8月における湖からの流出パターンが異なってくることで、さらには‘50年代の分洪比を組合せることで、パターンの変化に加えて、いずれの計算条件よりも洪水期間を通じて流出量が多い状態で推移する結果を示している。この要因として、ダムによる放流量調節、さらには分洪比の増加により洞庭湖合流部の長江本流の水位を低下させることで、湖からの流出に対する背水の影響を弱めていることが挙げられる。これら流出特性に対応して湖貯水量は、退田還湖のみの場合に比べて、三峡ダム運用を組合せた場合で7月後半からの急激な貯水量増加は抑えられ、さらには‘50年代の分洪比を組合せることで、洪水期全般に亘ってその増加は緩やかなものとなった。結果として、本条件において洞庭湖の水位上昇は抑えられ、図6に示すように、洪水期を通じて洪水防御が達成された。

5. 2 洞庭湖合流後の長江本流における洪水防御効果

図9に示すように、退田還湖のみの場合に加えて三峡ダムの運用、さらには‘50年代の分洪比を組合せた場合でも、洪水期の洞庭湖合流後の長江河川流量は、螺山における安全に洪水を流下させ得る目安となる $60,000\text{m}^3/\text{s}$ を上回る結果となった。ただし、三峡ダムやダムと分洪比の増加を組合せた場合は、1998年の再現結果や退田還湖のみの場合と比べて、洪水期の最大流量を $4,000$ から $5,900\text{m}^3/\text{s}$ 程度減少させる結果となった。これはダムによる放流量調節の寄与するところであり、分洪比の増加は、合流部での洪水防御に大いに寄与するのとは異なり、洪水期における合流後の長江本流の流量減少に全く寄与しない結果となった。これは、図7に示されるように、分洪比の増加は合流部上流側の長江本流の流量減少をもたらす一方で、洞庭湖からの流出量の増加を招くため、1998年の分洪比を用いた場合と比して、結果的に合流後の流量にほとんど変化を生じさせないことによると考えられる。

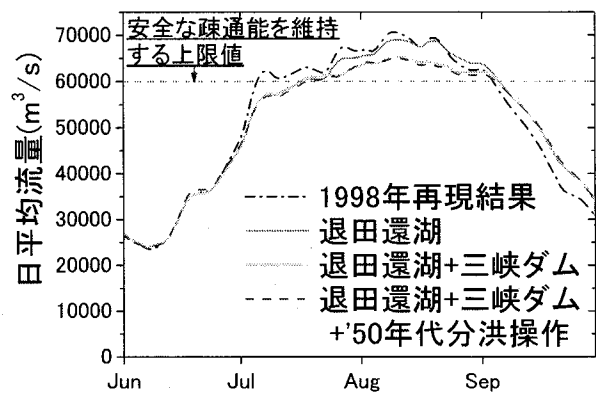


図9 1998年洪水期における洞庭湖合流後の長江本流(螺山水文点)での各条件による日平均河川流量計算結果

6. 考察及びまとめ

本研究において、中国政府が洪水対策の一環として定める洞庭湖周辺の退田還湖によって、1998年当時と比べ、湖平均水位 35.0m 時で 115 億 m^3 程度の貯水容量の増加が見込まれることが推定された。一方で、貯水容量の増加は長江水利委員会の定める三峡ダム放流操作と組合せた場合でも、長江本流との合流部周辺の洞庭湖における洪水防御に顕著な効果をもたらす結果とならず、合流部上流側において長江本流の河川水を洞庭湖へ分流する割合を‘50年代当時の値へ増加させる (27.6% → 41.3%) ことで、初めて顕著な防御効果が得られることが本計算によって確認された。図10は、1998年の洪水に対して、退田還湖に三峡ダムによる放流操作を組合せた場合と、さらにそこに‘50年代の分洪比を組合せた場合、それぞれの洞庭湖日平均水位と洞庭湖と長江の合流部日平均水位計算結果を示したものである。前者については、図中の3箇所の矢印が示すように、合流部での急激な長江の水位上昇が、湖からの流出に対して背水の影響を強めることで湖の水位上昇をもたらし、両者の水位差は最小で 0.1m を下回る結果となった。このため、計算上で

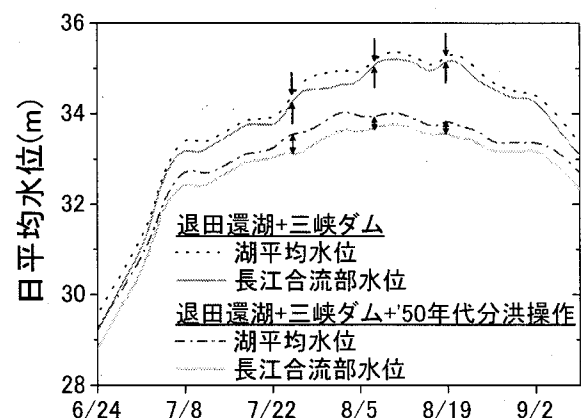


図10 1998年の洪水期を対象とした洞庭湖合流部の長江日平均計算値と湖日平均水位計算値の変動

も 1998 年に生じた洪水と同様に、洞庭湖周辺部において長期間の洪水警戒水位の超過が引き起こされた。一方、図中の‘50 年代の分洪操作を組合せた計算結果に示した 3 箇所’の矢印は、分洪比の増加、すなわち、積極的に洪水期の長江の河川水を洞庭湖へ引き込むことで長江の河川水位を低下させて（最小でも水位差 0.22m を維持）、背水の影響を弱めることで洞庭湖から積極的に流出させることが、結果的に湖での過度の水位上昇を抑止することを、顕著に示すものである。以上の結果は、合流部周辺の洞庭湖における洪水防御に対し、合流部上流区間での長江本流の水位コントロールの重要性を示している。また、積極的な分洪は、荊江（Jinjiang）区間と称される宜昌から洞庭湖合流部までの長江本流区間における洪水氾濫の防御に対しても、著しく寄与すると考えられる。

本研究によって、洞庭湖周辺の退田還湖による遊水池機能の回復は、1998 年の全流域型の大規模洪水においても、三峡ダムの運用や分洪操作との適切な組合せによって、洞庭湖周辺域ならびに洞庭湖合流部上流側の洪水防御に顕著な効果をもたらすことが確認された。一方で、洞庭湖合流後の長江本流の水位低下にはほとんど寄与しないことが予測されることから、武漢をはじめとする下流側の沿岸都市における洪水防御について、計画されている長江河岸周辺での退田還湖の実施等を含め、別途対策を講じる必要があることが示唆された。

参考文献

- Bicknell, B. R. et al. (1997). Hydrological Simulation Program—Fortran, User's Manual for Version 11." Rep. No. EPA/600/R-97/080, U.S. EPA, Athens, Ga.
- Hayashi S. et al. (2004) HSPF simulation of runoff and sediment loads in the upper Changjiang River basin, China, J. Environ. Eng., ASCE, 30 (7), 801-815.
- Hayashi S. et al. (2005) Modeling of daily runoff in the Changjiang (Yangtze) River basin and its application to evaluating the flood control effect of the Three Gorges Project, CGER's Supercomputer Monograph Report Vol. 10, 69p.
- Hayashi S. et al. (2006) Daily runoff simulation by an integrated catchment model in the middle and lower regions of the Changjiang basin, China, J. Hydrol. Eng., ASCE, (in revision).
- Kalnay E. et al. (1996) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, Bulletin of the American Meteorological Society, 77 (3), 437-471.
- Liu J. Y. (1996) Macro-scale survey and dynamic study of natural resources and environment of China by remote sensing. Chinese Science and Technology Publisher, Beijing, 353p.
- Su B. et al. (2005) Trends in frequency of precipitation extremes in the Yangtze River basin, China: 1960-2003, Hydrological Sciences Journal, 50 (3), 479-492.
- Wang Q. et al. (2003) Using NOAA AVHRR data to assess flood damage in China, Environmental Monitoring and Assessment, 82, 119-148.
- Wang S. et al. (2005) Anastomosing river system along the subsiding middle Yangtze River basin southern China, Catena, 60, 147-163.
- Xu K. et al. (2005) Simulated sediment flux of 1998 big flood of Yangtze (Changjiang) River, China, Journal of Hydrology, 313, 221-233.
- Zhao S. et al. (2005) The 7-decade degradation of a large freshwater lake in central Yangtze River, China, Environ. Sci. Technol., 39, 431-436.
- Zhang J. et al. (2006) Measuring fluctuations in water storage in Lake Dongting, China, by Topex/Poseidon satellite altimetry, Environmental Monitoring and Assessment, 115(1-3), 23-37.
- 洪慶余ほか (1999) 長江防洪与‘98 大洪水, 中国水利水电出版社, 北京, 185p.
- 徐開欽ほか (2000) 中国長江流域の水環境問題 (2) —長江流域の洪水災害と対策—, 用水と廃水, 42 (8), pp. 31-43.
- 中国水利部長江水利委員会水文局 (2000) 1998 年長江大洪水及び水文観測預報, 中国水利水电出版社, 北京, 200p.
- 林誠二ほか (2004) 1998 年の大洪水を想定した三峡ダムによる長江中流域の洪水抑止効果, 第 12 回地球環境シンポジウム講演論文集, 79-86.