

グローバルダム貯水池データベースの構築

GLOBAL DAM RESERVOIR DATABASE FOR LARGE SCALE HYDROLOGICAL ANALYSIS

平野順子¹・馬籠純²・石平博³・竹内邦良⁴

Junko HIRANO, Jun MAGOME, Hiroshi ISHIDAIRA and Kuniyoshi TAKEUCHI

¹学生会員 山梨大学大学院 大学院医学工学総合教育部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

²正会員 工博 山梨大学研究員 大学院医学工学総合研究部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

³正会員 工博 山梨大学助教授 大学院医学工学総合研究部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

⁴正会員 工博 山梨大学教授 大学院医学工学総合研究部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

A geo-referenced global dam reservoir database is constructed by assembling several published dam inventories and latitude/longitude coordinates that are digital obtained or decided from printed maps. This database is designed for hydrological applications on river basin scale to the global scale, and 15,317 dams with 29 dam reservoir attributes are registered in it. A shoreline polygon data of the reservoir/lake is also provided for 4,204 dams. The total storage capacity of the registered dams is 5,594km³, which is equivalent to the 70% of total storage capacity of all reservoirs and lakes over the world (7,000 km³).

Since geo-referenced reservoir database which covers whole global area is rarely available, the database will greatly contribute for global scale water resources analysis and impact assessment of reservoirs on the freshwater systems.

Key Words : Dam reservoir, Database, GIS, Global database

1. はじめに

現在, 人口増加による食料需要の増大, 発展途上国の経済発展による都市用水需要の増加, 気候変動に伴う降水の変化などにより, 今後水資源不足がより深刻化することが予想されている. したがって, 水資源の確保およびその効率的な運用は, 人類が永続的に取り組んでいかなければならない重要な課題である. この貴重な水資源を確保する手段として, ダムは大きな役割を果している. 現在, 堤高15m以上の大規模ダムは世界に45,000個ほど建設されており, その総貯水池容量は約7,000 km³にも達する¹⁾. また, 今後も途上国を中心に多くのダム建設が計画されているため, これらのダムが水資源確保において重要な役割を担い続けることが予想される.

その一方で, ダムが流域環境へ与える影響を懸念する声が近年高まっている. そこで, 水資源を確保しながら, 環境に配慮したダムの建設・管理を実現するためには, ダム貯水池が, 水循環や流域環境に与える影響を科学的かつ定量的に評価することが求められている. そのため, 特定ダム貯水池およびその流域を対象としたダム貯水池の影響評価 (例えばWCD²⁾) に加え, 大規

模貯水池による全球スケールでの河川水滞留時間増加 (Vorosmarty et al³⁾) や, 全球の河川流量・水資源へ及ぼす貯水池の影響 (花崎ほか⁴⁾) に関する解析も試みられている.

このような解析を行うためには, ダム貯水池の貯水容量, 湛水面積, 位置座標といった基礎データが必要不可欠である. しかし, 世界には様々なダム情報が存在するものの, それらは個々に異なった目的で作成されており, 統一された基準で整理されていない. また, それらの多くはLehner and Doll⁵⁾ にレビューされているように, ダムの位置情報を含んでいないか, あるいは非常に粗い位置精度の情報しか登録されていないなどの問題が残されている.

このため, 全球スケールのみならず大規模な流域スケールでの水文解析にも利用可能なダム貯水池の位置精度を持ち, さらに統一基準で整備されたダム貯水池データベースの整備が強く求められている. このような情報は, グローバルな水循環モデルや流域スケールの分布型水文モデルとの組み合わせにより, 広域の水・物質循環に与える貯水池の影響評価を可能にするとともに, それに基づく地域・流域規模での水管理政策の提言などにも大きく貢献することが期待される.

表-1 データベース作成に用いたダム貯水池情報と構築したデータベース

| データセット名 | 作成機関 | 対象領域 | 位置座標 | ダム貯水池情報 | ダム貯水池収録数 |
|--|----------------------|---------|------|---------|----------|
| World register of dams 1998 | ICOLD | 全世界 | なし | あり | 27989 |
| Digital chart of the world | ESRI | 全世界 | あり | なし | 6516 |
| Dams and storages database | Geoscience australia | オーストラリア | あり | あり | 846 |
| Geo-referenced database on African dams | FAO | アフリカ | あり | あり | 1192 |
| 国土数値情報(W01-07P) | 国土交通省 | 日本 | あり | あり | 3143 |
| Summary of selected characteristics of large reservoir | USGS | アメリカ | あり | あり | 2708 |
| Major dams | USGS | アメリカ | あり | あり | 7782 |
| World lake database | ILEC | 全世界 | あり | あり | 730 |
| Geo-referenced global reservoir database | 山梨大学 | 全世界 | あり | あり | 15317 |

表-2 ダム貯水池の位置情報取得に用いた主な地図

| 名前 | 作成 / 出版 | 領域 | 縮尺 |
|----------------------------------|--|-----|-----------|
| Operational Navigation Chart | NIMA / FAA | 全世界 | 1,000,000 |
| World Aeronautical Charts | The Canada center for mapping | カナダ | 1,000,000 |
| ベルテルスマン世界地図帳 | Mairs Geographischer Verlag Ostfildern | 全世界 | 複数 |
| Time/WORLD ATLAS | TIMES BOOKS | 全世界 | 複数 |
| Comprehensive Atlas Of The World | HAMMOND INCORPORATED | 全世界 | 複数 |

本研究では、世界の貯水池情報を収集・統合し、これに位置座標を付加することによりグローバルなダム貯水池データベースを構築する。さらに、これを用いて世界のダム貯水池の分布と水循環への影響ならびにダム貯水池建設の社会的影響について検討を行う。

2. ダム貯水池データベースの構築

(1) ダム貯水池の定義

本研究ではInternational Commission On Large Dams (ICOLD) によって作成されたWorld Register of Dams 1998 (WRD98)¹⁾を貯水池データベース作成の基礎情報として用いる。WRD98では、堤高が15m以上のものをダム貯水池として定義しており、洪水防御のための河川堤防、海岸部の堤防はこの中に含まれていない。ただし、15m未満であっても貯水容量が300万m³以上ものは、記載されているものもみられる。

本研究では、WRD98に倣い、堤高が15m以上もしくは貯水容量が300万m³以上の貯水池をダム貯水池と定義する。さらに、この中で貯水容量が0.1 km³以上のものを大規模ダム貯水池と定義する。

本データベースは、貯水容量が0.1 km³以上の大規模ダム貯水池を主な対象とし、位置情報(座標・水域形状)を含む基本情報を整備する。なお、貯水容量0.1 km³以下のものについても、可能な限り整備を進める。

(2) 既存の貯水池情報・地図情報

表-1に、本データベース作成に用いた主要なデータ

セットの名称およびその作成機関、領域(データのカバーレッジ)、位置座標の有無、収録件数を示す。

WRD98は、ICOLDにより全世界の27,989地点のダム貯水池について30項目の情報(貯水容量、湛水面積、建設年度など)を収録したデータセットである。これは、現時点で入手可能な世界規模の貯水池データセットの中で最も詳細かつ多数の貯水池を登録しているものであることから、これを基本として属性情報(位置座標を除く情報)を整備する。

ただし、WRD98には位置座標(緯度、経度)が含まれていない。このため、位置座標を取得するため、表-1に示す位置座標値を持つ他の既存貯水池情報(例えば、Digital Chart of the World(DCW)⁶⁾や表-2の地図(Operational Navigation Chart(ONC)⁷⁾など)を利用した。さらに、グローバルな解析だけでなく、流域スケールでの解析にも利用可能にするため、これまでのグローバルな湖沼・貯水池データセット(例えば、World Lake Database⁸⁾など)よりも位置精度が高くなるよう可能な限り縮尺の大きい地図やデータセットを用いた。

さらに、WRD98は国単位でダム貯水池情報が整備されているが(ICOLD加盟80カ国、非加盟60カ国)、アフリカを中心に非加盟国と非掲載国の領域も広い。したがって、これらの領域のダム貯水池情報はGeo-Referenced database on African dams⁹⁾等の既存情報を参照した。

(3) ダムデータベースの構築

a) ダム位置情報の取得と属性情報(WRD98)への結合
以下の手順により、位置座標値をもつダム貯水池デー

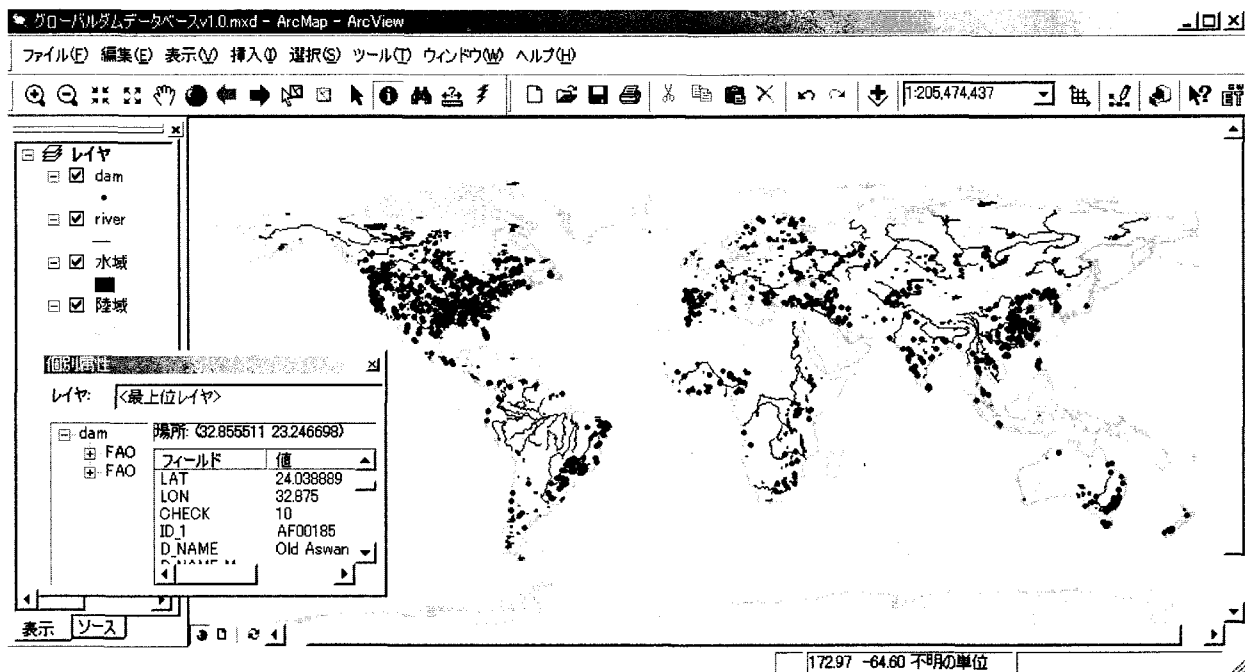


図-1 グローバルダムデータベースのGISによる表示例
(貯水容量0.5km³以上のダム貯水池を表示)

データベースを構築した。

- ① 1/100万の世界地図ONCや、GISデータのDCW等から、ダム位置の座標値(緯度、経度)を取得する。
- ② 座標値が得られたダムについて、地図を用いてダム名を特定し、ダム座標値とWRD98の属性情報(ダム名・貯水容量・湛水面積・建設年度・用途など)とをリンクさせる。なお、副ダムについては、水文解析時における容量・面積などの重複集計を防ぐため、どの主ダムと対応しているかをチェックするとともに、主ダムと区別できるようデータに識別標(フラグ)を付加した。
- ③ アメリカ、日本、オーストラリアなどの一部の国・地域については、座標値を含むダム情報データベースが公開されており、これらのデータも上記②に付加する。
- ④ 地図、地域ごとに整備したデータを一つにまとめ、グローバルデータセットとして完成させる(図-1)。

このようにして整備した結果、2004年9月現在、貯水容量0.1 km³以上の大規模貯水池数は2,341個、その総貯水容量は5,445 km³である。また、ダム貯水池の総数は15,317個、その総貯水容量は5,594 km³である。

b) 水域界データ

上記a)で述べたダムの位置とは、ダム堤体の緯度経度であり、ダム貯水池によってできた水域の形状や位置を示すものではない。しかしながら、ダム湖面からの蒸発量推定や衛星による貯水量監視などにおいては、貯水池水面の位置も必要とされることから、大規模なダム貯水池については下記の手法により水域界データを作成した。

① GIS上にダム貯水池・湖沼の位置とDCWやONCなど水域界のデータとなるものを表示し、ダム貯水池・湖沼がどの水域に属しているか決定する。

② DCWをもとに、GIS上でダム貯水池・湖沼が属する水域の水際線ポリゴンデータを作成する。DCWにデータがないものは、ONCを参照してポリゴンを作成する。

③ 作成したポリゴンデータとダム貯水池データベースとをGISを用いて結合する。

以上の手順により、4,198個の水域データを整備した。図-2は、ダム貯水池のデータに水域のポリゴンを結合したものの一例である。

c) エラーデータのチェック

WRD98を含む既存のダム情報には、タイプミスなど様々なエラーが含まれている。これらエラーの除去は極めて困難であるが、以下のチェックにより、明らかにエラーと分かるデータについては抽出・修正を行った。

- ① 堤高>335m: WRD98による世界で最も高い堤高(Rogunダムの335m)よりも高い堤高値はエラーである。
- ② 湛水面積>8,482 km²: WRD98による世界最大の湛水面積(Akosomboダムの8,482 km²)よりも大きな湛水面積値はエラーである。
- ③ 貯水容量>180.6 km³: WRD98による世界最大の貯水容量(Karibaダムの180.6 km³)よりも大きな貯水容量値はエラーである。
- ④ 貯水容量/湛水面積>堤高: 貯水容量を湛水面積で除した値(=平均水深)はダム堤高を超えないと考えられることから、これを超えた場合はエラーとする。
- ⑤ 貯水容量/湛水面積<0.1m: 平均水深が極端に浅い(0.1m以下)のものは、エラーの可能性が高い。

上記の基準でエラーとみなされたデータについては、他のデータセット(USGS¹⁰⁾、UNH¹¹⁾やILEC[®]のデータセット)の情報との比較や、該当ダム貯水池の管理機関がWeb

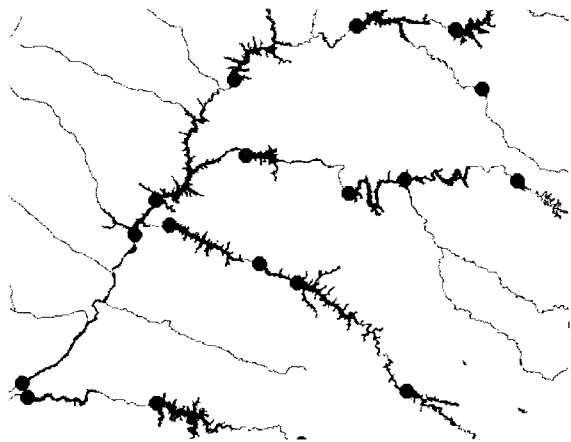


図-2 ダム貯水池の水域界データの整備例 (ブラジル)

上で公開している貯水池情報をもとに修正を加えた。

3. 収録データの概要

(1) ダム位置情報

本研究において整備したダムデータベースには、総計15,317個のダム貯水池に関するデータが収録されているが、そのうち位置情報が整備されているダム貯水池は15,034個である。これは、既存の位置情報を含むダム情報データベースを用いたアフリカとブラジルで、位置情報が欠落している地点があったためである。また、各地点の位置精度については、主な位置参照データとして用いたONC, DCWとほぼ同等の1:1,000,000程度である。ただし、ONC, DCWで位置情報が取得できなかったダムについては、地図帳から座標値を手作業で読みとった。このように各地点ごとに位置精度に若干の差異があることから、位置情報取得に用いた地図の縮尺もデータ属性として付加した。

本データベースのうち位置情報が整備された地点数をWRD98の収録データ数と比較した結果を表-3に示す。なお、表-3の値(整備率)は、WRD98の収録データ数に対する本データベース収録データ数の割合である。全世界で見ると整備率は55%であるが、容量別に見てみると10km³以上では95.5%、0.1 km³以上でも80.4%整備されている。つまり、主要となる貯水池においては高い割合で整備できているといえる。また、大陸別では北アメリカやオーストラリアで整備率が100%を超えている。これは、WRD98に含まれていない堤高が15m以下の貯水池も含む、各国が独自に作成した既存のデータベースをこれらの領域に用いたためである。

(2) 水域界データ

水域界のデータ4,204個のうち、本研究で整備したダム貯水池データベースと対応づけができた3,688個について整備状況について検討を行った。

表-3 大陸別のダム貯水池数の整備率

| Continent | 全体(%) | 10km ³ 以上(%) | 1km ³ 以上(%) | 0.1km ³ 以上(%) |
|--------------|-------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| AFRICA | 83.7 | 100.0 | 83.7 | 92.5 |
| AMERICA N. | 106.7 | 138.5 | 136.5 | 143.6 |
| AMERICA S. | 38.6 | 88.0 | 71.6 | 57.9 |
| ASIA | 35.2 | 78.8 | 62.7 | 50.6 |
| Austral-Asia | 132.0 | 25.0 | 78.9 | 83.6 |
| EUROPE | 14.4 | 93.3 | 52.4 | 42.3 |
| 全世界 | 55.0 | 95.5 | 85.9 | 80.4 |

表-4 水域界データの整備状況

| | 水域ポリゴン数 | 本データベース収録貯水池数 | 割合(%) |
|-----------------------|---------|---------------|-------|
| 0.1km ³ 以上 | 1509 | 2341 | 64.5 |
| 0.5km ³ 以上 | 736 | 956 | 77.0 |
| 1km ³ 以上 | 523 | 599 | 87.3 |
| 5km ³ 以上 | 154 | 172 | 89.5 |
| 10km ³ 以上 | 100 | 108 | 92.6 |
| 全体 | 3688 | 15317 | 24.1 |

表-5 主要属性データの整備割合

| | 貯水容量 | 湛水面積 | 流域面積 | 建設年度 |
|--------|-------|-------|------|-------|
| 整備データ数 | 14390 | 10282 | 6924 | 11001 |
| 割合(%) | 93.9 | 67.1 | 45.2 | 71.8 |

その結果を、表-4に示す。全体では24.1%と低い値になっているが、貯水容量が10 km³以上では92.6%、1 km³以上でも87.3%と高い割合で整備できている。ダム貯水容量についてみると、全体では、本研究で整備したダム貯水池データベースの総貯水容量5,594 km³に対して87.3%の4,884 km³を整備することができた。

ただし、Lehner and Doll⁹⁾, Birkett and Mason¹²⁾などで指摘されているように、水域界データ作成に用いたDCWやONCは1970年代~1990年代の情報に基づいて作成されており、Chad湖(アフリカ)など近年の水位低下、湖面積縮小が著しい湖沼については、現状の水際線と地図上の水域界とが必ずしも一致していない部分も存在する。この点については、衛星画像から抽出される水面情報などと照らし合わせながら、今後修正を加える必要がある。

(3) 属性データ

本データベースでは、各ダムに対して以下29項目の属性を付加した：大陸, 国, 州・県など, 近隣都市, 河川名, ダム名, メインのダム名, 貯水池名, 竣工年, ダムの形式, ダムの基礎, 堤高, 堤頂長, ダム体積, ダムの材質, 貯水池容量, 有効貯水容量, 湛水面積, 貯水池周長, 目的, 流域面積, 余水路容量, 余水路形式, 所有者, エンジニア, 建設者, 副ダム, 重複(多国間にまたがるダム), 建設状況。

表-5は、主要な属性の整備割合(WRD98の収録数に対する割合)について示したものである。位置やダム名などは100%近く整備されているが、湛水面積や建設年度の

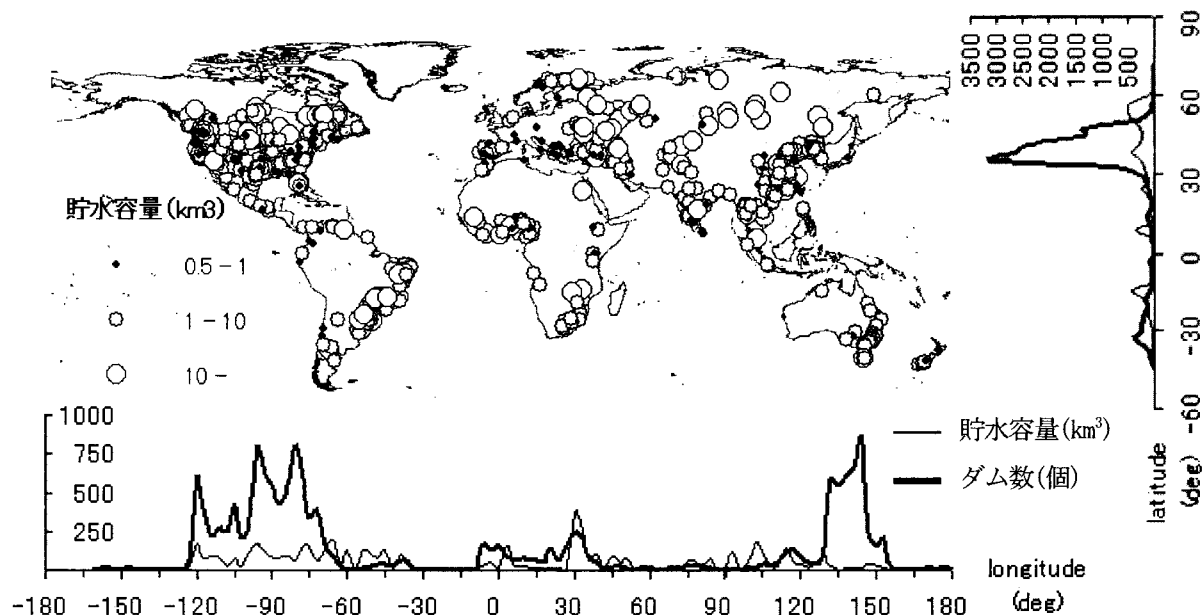


図-3 緯度・経度毎のダム貯水池分布(ダム位置は貯水容量0.5 km³以上について表示)



図-4 平均水深とダム位置(貯水容量0.5 km³以上)

ように7割前後のものもあり、属性によって整備率に差があることがわかる。これは、属性情報の基本としたWRD98におけるデータの欠落が大きく影響しており、更なる情報収集によるこれらの情報の追加が必要である。

4. 世界のダム建設の変遷

(1) 世界のダム貯水池の分布

図-3は、本データベースにおける貯水容量の地理的な分布(貯水容量が0.5 km³以上の956個について表示)と、その緯度・経度帯別のダム貯水池分布を示したものである。この図より、大規模ダムは、アメリカ・カナダ・ロシア・中国などの地域に多く分布していることがわかる。また、緯度では30度から60度付近に、経度では-125度から-65度、130度から155度の付近にダム貯水池が多く分布していることが分かる。

さらに、図-4は、貯水容量0.5 km³以上のダム貯水池の平均水深を示したもので、ここでの平均水深は、貯水容量を湛水面積で割ったものである。貯水容量・湛水面積の小さい地点で平均水深が深い傾向が見られた。

(2) 貯水池建設の経年変化

図-5に世界におけるダム数、貯水容量、湛水面積の経

年変化を示す。ダム数と湛水面積は、1900年頃から徐々に増加しはじめ、特に1950年から1990年にかけて増加が激しい。貯水容量の変化も、同様に1950年から1990年にかけて増加しているが、1990年頃からはそれ以前程の増加が見られない。つまり、1950年から1990年にかけて、大規模なダムが建設されたといえる。

また、図-6は、1950年と1990年の一人当たりの貯水量の変化を表したものである。この図から、1950年から1990年にかけて一人当たりの貯水量が増加している国が多くあることがわかる。例えば、ロシア・ザンビア・ガーナ・パラグアイといった国で急激に増加している。これは、図-5でも示したように1950年頃から大規模ダムの建設が進み、貯水容量が増えたためだと考えられる。

5. まとめ

本研究では、既存のデータセットを活用しつつ、新しい属性や位置情報などを整備することで、全球スケールから流域スケールの解析まで利用可能な位置座標を持つグローバルダムデータベースを整備した。

具体的には、ダム貯水池の収録数15,317個、属性29項目について整備し、その総貯水容量は5,594 km³、総湛水面積は346,914 km²である。これは、全世界の貯水容量7,000 km³の約8割に相当する。また、水域界データについては、ダム貯水池・湖沼含めて4,204個整備した。このうち、本データベースにおける貯水容量0.1 km³以上の大規模ダム貯水池数2,341個に対しては、1,509個(64.5%)整備した。

このようなデータ収録数の多さに加え、ダム貯水池の緯度・経度情報を含んでいることが、本データベースの

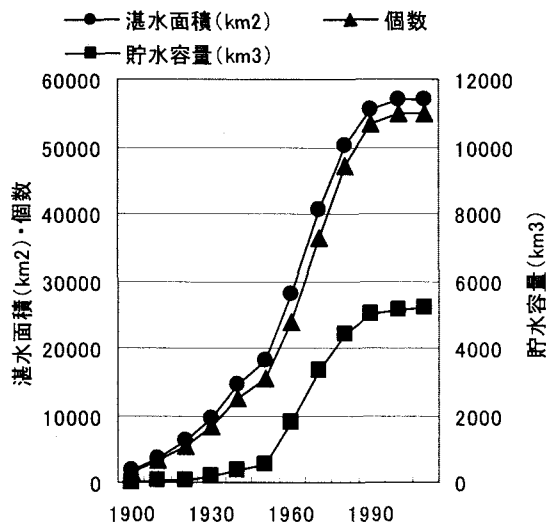


図-5 ダム建設の経年変化

大きな特徴である。これにより、ダム貯水池と流域や河川網との位置的な対応関係をより詳細に把握でき、大陸・国及び河川流域といった様々なスケール・ユニットでの貯水容量分布を示すことが可能となった。さらに、グローバルな水循環モデルや流域スケールの分布型水文モデルとの組み合わせにより、広域の水・物質循環に与える貯水池の影響評価への貢献も期待される。

ただし、地域別のデータ収録状況などをチェックした結果、大陸・国によってデータ整備状況に差があるなどの問題点も明らかとなった。今後は、他の地域と比較してデータ整備が十分でない地域を中心に、位置情報の取得・付加などを継続的に行い収録データの充実を図るとともに、水域界のデータについても貯水容量の小さなダム貯水池・湖沼の整備を拡大する必要がある。

謝辞：本研究は、文部科学省 RR2002「アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変動予測モデルの開発」（代表：山梨大学 竹内邦良）、文部科学省 21世紀COEプログラム「アジアモンスーン域流域総合水管理研究教育」（拠点リーダー：山梨大学 竹内邦良）、科学研究費補助金 基盤研究(A)「地球規模観測研究のローカル情報へのダウンスケーリングに関する研究」（代表：山梨大学 竹内邦良）JST-CREST「黄河流域の水利用・管理の高持続性化」（代表：九州大学 楠田哲也）、科学振興調整費「世界の水問題解決に資する水循環科学の先導」（代表：東京大学 沖大幹）、科学振興調整費「アジア国際河川生態系長期モニタリング体制構築」（代表：国立環境学研究所 渡邊信）の援助を受けている。記して謝意を表する。

参考文献

1) ICOLD : World register of Dams 1998, International Commission on Large Dams, Paris., 1998.

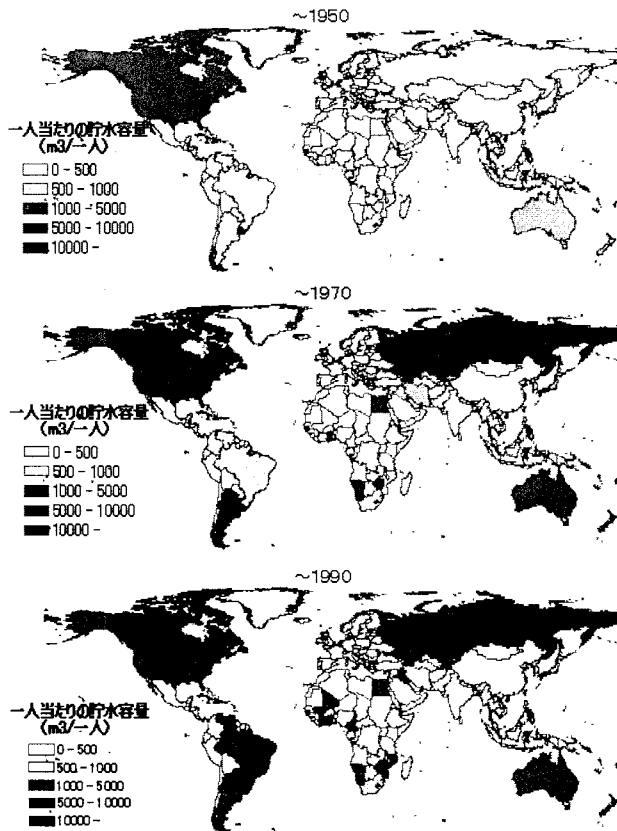


図-6 一人当たりの貯水容量の経年変化

2) World Commission on Dams Secretariat : WCD Case Studies Tucuruí Hydro-Power Complex (Brazil) FINAL SCOPING REPORT 1999, <http://www.dams.org/kbase/studies/>

3) Vorosmarty et al.: The Storage and aging of continental runoff in large reservoir systems of the world, *Ambio* Vol.26, No.4 pp210-219, 1997.

4) 花崎直太, 鼎信次郎, 沖大幹 : 貯水池操作が全球の河川流量に与える影響の評価, *水工学論文集*, 第48巻, pp463-468, 2004.

5) Lehner, B., P., Doll : Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands, *Journal of Hydrology*, 2004.

6) ESRI : Digital Chart of the world, <http://www.maproom.psu.edu/dcw/>

7) NIMA : Operational Navigation Chart, 1992.

8) ILEC : International Lake Environment Committee. Survey of the State of the World's Lakes: Data Books of the World Lake Environments, Volumes 1-4, 1988-1991.

9) FAO : Geo-referenced database on African dams, *Atlas of Water Resources and Irrigation in Africa*, 2001.

10) USGS : Major dams, <http://www.watlas.usgs.gov/damsm.html>

11) UNH/GRDC : Composite Runoff Field V1.0, <http://www.watsys.sr.unh.edu/>

12) Birkett, C.M., Mason, I.M. : A new global lakes database for a remote sensing program studying climatically sensitive large lakes, *J. Great Lakes Res.* 21(3), 307-318, 1995.

(2004. 9. 30 受付)