

## 環境的側面からの問題でとらえたダムの可否について

三田村 緒佐武

淀川流域委員会委員長ならびに同委員会ダムWGリーダーから依頼があった表記に対する結論をまず記し、つづいてダムがもたらす環境への影響についての一般的な事象（流域委員会を対象としているダムの例を含めて）を陸水環境学の視点から述べ、ここに報告します。

### <結論>

環境、とくに自然環境を保全するためにはダム建設を避けるべきである。

### <理由>

- ①環境の判断基準は、「予防原則」「安全側」にたって価値判断をすることが通説であるため、リスク概念を優先させることが求められる。
- ②自然環境は地球の歴史とともに形成されてきたため、生態系はしなやかに順応していると考えられている。短時間での急激な人為的変化が自然環境にとって良好な影響を与えるとは考えられず、好ましくない影響をもたらすと考えることが一般的である。
- ③意見書にもあるように、自然環境への人為的負荷に対しては、その変動が自然的なそれを基礎におくことを求めているが、ダムによる自然改変は自然のリズムを大きく超えるケースが多々あると予測される。
- ④閉鎖性水域（ダム湖）を出現させることによる富栄養化現象は、日本においてもいくつかの例がある。たとえば児島湾の締め切り（小島湖）、長良川の可動堰などである。なお、陸水学（湖沼学）ではこれら堰き止め水域をダム湖と称するが、河川工学ではこれらはダム湖に含めないようだ。
- ⑤環境問題は、あるひとつの因子が働き生じる場合より、複合的に作用する場合が多いことは、日本でもいくつも経験している。ダム建設による自然環境への影響（たとえば生物多様性、富栄養化など複合的な問題）を現在わかっている因果関係から判断することは、きわめて問題がある。

### <コメント>

- ①人間の生命に関することは自然環境の悪化よりも優先されるべきとの考え方もあるため、治水での判断を優先させることはありえる。しかし、環境悪化が著しい場合は治水とともに優先して考慮しなければならない。それは、環境悪化がさらなる人間の生命を脅かすこともありえるからである。
- ②したがって、時間的制約の中でダムに対する可否の判断をしなければならない場合、治水を優先してダム建設の可否を判断し、その結果がダムに頼る場合において環境側面から

のダム建設の可否の判断をすることが望ましい。

- ③人為的に改変された自然環境が人間を含む生態系にとってよい影響を与えないとするならば(事実そうであろう), その環境を自然リズムに復す作業は人が行うのが原則である。たとえば, 琵琶湖の水位問題はその原因となる洗堰の運用を見直す作業から始めるべきで, その上で他の環境改善策を図ることが望ましい。これを一部の例外(対処療法に頼らなければならないこともある)を除いて環境振り替えで行うのは, 基本的には好ましいものとは考えられない。
- ④ダムが自然環境に及ぼす影響はそれぞれ個々のダムによって異なる事象があるため, さらなる環境影響評価を実施すべきである。
- ⑤環境への影響を短時間で事実関係を調べることは困難であることも原因していると思われるが, 管理者が提出したダムが及ぼす環境変化に対する調査にはまだまだ不備があるため, 上記の原則とともに現時点ではダム建設を避けるべきと判断せざるをえない。

### 「ダム(湖)が環境(自然環境)に及ぼす影響」

ダム建設が自然環境に及ぼす影響, 供用後のダム湖における環境問題, ならびにダム湖(水)が下流環境(琵琶湖を含めて)に及ぼす影響について述べる。

ダム湖の生態系を理解するため, 天然湖沼のそれと比較して述べる(⇒表A)。

#### 1) 湖岸線の発達

- ①ダム湖の肢節量は大きく湖岸線は屈曲しているため, 多様な湖岸環境が存在するように思われるが, 湖盆傾度が大きいため豊かな湖岸生態系は形成されない。
- ②ダム湖の上流域にはいくつもの入り江(止水域)が存在することが多く, かつての溪流生態系が破壊される。

#### 2) 水位変動

- ①急激な水位変動により, 少なくとも湖岸の水位変動する場所では, 植生は認められず, 湖岸の土砂が流出し濁水の発生につながる。また, ダム湖の景観破壊にもつながる。
- ②ダム湖の水位変動はきわめて大きく, 湖岸生態系が壊滅的になる。なお, これは, 天然湖沼でも言えることで, たとえば青木湖は発電用水に利用したため冬季に水位が極端に減少し湖岸域はダム湖と化している。琵琶湖の場合も水位操作により水位変動が大きいと大きな環境問題になる。
- ③ダム湖の流水帯(図B-①)の入り江は, ダム湖の水位低下の際に, タマリのごとくの小水塊が形成され, アオコの発生など富栄養化現象がしばしば見られることがある。ここで発生した藻類は, ダム湖の止水帯(図B-①)で大増殖することがある。

④下流域の水供給のため、水位・流量管理が行われるが、下流河川では本来の生態系の水量とはかけ離れた状態になる。なお、琵琶湖の水位変動を緩和させる目的でダムを活用する場合においても、人為的自然改変に対する考え方で述べたように瀬田川洗堰の見直し操作を基本にし、これの補助的な役割を持たすべきだろう。ただし本来あった琵琶湖の水位変動の枠内で操作すべきであって、自然環境をきわめて一定に安定化させる行為は自然の緩衝能を損ないかえって好ましくない（図 F-①）。

### 3) 水温成層（水温の鉛直分布）

- ①貧酸素水塊が遷移帯・止水帯（図 B-①）の深層水でしばしば出現する（図 B-③、図 C-①）。この結果、ダム湖の富栄養化促進、深層水中に棲息する水生生物への影響、貧酸素水の放流による下流域への影響などがある。その典型的な環境問題として、アマゾン川支川トカチンス川の例がある。これは水没林等の分解に伴う無酸素水塊の出現と深層無酸素水放流に伴う、下流での酸化鉄による赤化、硫化水素発生と生物群集相の破綻問題である。
- ②ダム湖からの温・冷水（本来の河川水温の変動を超えた）放流は、下流域に環境変化をもたらす。たとえば、冷水による稲の成長阻害、温・冷水による河川水生生物への影響、霧の発生による日照時間の低下と陸上植物への影響、交通への影響などがその例が知られている（これは、ダムの取水口の選択、放流時期の選定などである程度は解決できる）。

### 4) 湖水の滞留時間

- ①ダム湖水の滞留時間は天然湖沼より短い（図 B-④）、ダム湖水の滞留時間によっては、湖沼プランクトンの発生を促し、場合によっては赤潮（アオコ）などの水の華を形成する場合が観察される。日本の緯度では、一般に夏季で1週間、冬季で2週間以上の湖水の滞留時間であれば、プランクトンが増殖する可能性が高いことが知られている（本来、日本のような急流河川では植物プランクトンは増殖できず、付着藻類がおもな一次生産者となる）。たとえば、吉野川水系のダム湖では渦鞭毛藻類ペリジニウムの淡水赤潮対策で問題になっている。このような藻類種が琵琶湖などの淡水域に生種あるいはシスト供給として影響を及ぼすことが考えられる。また、ダム湖のような止水域では、珪藻により珪素の吸収・利用が促進され、一方で窒素・リン多寡（図 E-②）により、琵琶湖や海域において毒性の高い赤潮プランクトンに遷移させてしまうことが予測されている。これは、シリカ欠損現象として瀬戸内海（瀬戸内海に注ぐ河川のダム河川化に起因する）などで注目されつつある。
- ②滞留時間が河川水（滞留しない）より長い場合、ダム湖水の水温は河川水温とは異なる季節変動を示す。このことは、放流水が下流河川生態系に影響を及ぼす（前述）。
- ③日本のような急流河川では（河川の中の一部水域をのぞいて）溶存酸素はつねに飽和しているが、滞留時間が比較的長いダム湖では、季節にもよるが、深層水中で貧酸素水塊が発生することがしばしばある（前述）。

## 5) 土砂の堆積

- ①河川の掃流効果がダム湖では減衰し、ダム湖において土砂が沈積する。この結果、下流域への砂礫供給が減少し（粒子径の変化も含めて）、下流河川生態系の河床材料の変化とそれともなう生物相の変化が生じる。たとえば、河床の泥質化、砂景観河川の破綻、早瀬・平瀬のような河川形態の多様性減少などに伴う生態系の変容がある。また、琵琶湖の浜欠けに見られるような現象も河川が本来になう掃流効果が減少した結果と考えるのが妥当であろう。さらに、琵琶湖沿岸域の湖底泥質化も懸念される（図 F-①）。
- ②ダム湖に沈積した堆積物の除去に際しても、濁水発生などに伴う問題が生じることはよく知られた現象である（ただし、これはかなりの改善策が図られるようになってきた）。

## 6) 溶存酸素

- ①水温成層や湖水の滞留時間のところですでに述べてある。

## 7) 栄養塩供給

- ①ダムの建設に伴うダム上流域の森林伐採、あるいはダム湖付近までの生活圏の拡大などにより、ダム湖への生元素負荷が増加し、ダム湖における水の華の発生など富栄養化を促進させる（図 C-②）。
- ②下流域への栄養塩供給という意味では、ダム湖におけるプランクトン増殖に伴い栄養塩が除去され下流水域の貧栄養化が期待される（図 F-①）。

## 8) 湖岸帯／湿地帯（水陸移行帯）

- ①ダム湖では激しい水位変動のため水陸移行帯はほとんど形成されない（水位で前述）。
- ②琵琶湖もその意味では、人為的水位操作（瀬田川洗堰）によりダム湖化しつつあるともいえる。

## 9) 生物群集の相互作用

- ①ダム湖では河川本来の生物群集ではなくダム湖特有の生物相が出現することになる。しかもこの生物相の多様性は著しく低いことが特徴である。
- ②相互作用とは少々異なるが、ダム構築物により河川の連続性（生物環境の連続性）が断絶し、河川本来の生物環境でなくなる。魚類の遡上問題だけではなく、生物環境の断絶が及ぼす影響として甚大であろう。

## 10) 下流湖沼（琵琶湖）への影響（参考：図 D-①）

### ①琵琶湖の水位

- ・ダムにより琵琶湖の水位を変動させる案があるが、前述のごとく、まず瀬田川洗堰の水位操作を琵琶湖の水位自然変動に近づけることが肝要である（図 D-③）（上述のとおり）。

### ②琵琶湖湖底直上水の貧酸素化

ダム湖の出現により琵琶湖湖底直上水（あるいは堆積物表層）の貧酸素（無酸素）化が生じる懸念がある。その因果関係として考えられる事象は次のものがある（参考図 E-③、④）。

- ・高時川上流域の豪雪の雪解け水に豊富な溶存酸素水が、ダム貯留により温められ、溶存酸素の減少と、水温上昇・密度減少のため溶存酸素が豊富な河川水が従来のごとく琵琶湖底層水として寄与しなくなることが考えられる。

#### ③土砂供給

- ・浜欠け、湖岸堆積物の泥質化など関係が考えられる（上述のとおり）。

#### ④ プラクトン組成

- ・琵琶湖のプラクトン組成への影響が考えられる（上述のとおり）（参考図 E-③）。

#### ⑤湖底水の酸性化

- ・豪雪高時川上流域で積雪した酸性雪が、将来、琵琶湖の湖底堆積物からの栄養塩（とくにリン）の溶出をきたし、琵琶湖の富栄養化が促進されるのではないかと懸念があるが、ダム湖での貯留により雪解け水が温められ湖底へ供給と酸性化が緩和される効果がある（参考図 E-④）。

#### ⑥濁水供給

- ・ダムの建設による濁水の問題が考えられる（上述のとおり）。

#### ⑦富栄養化（参考図 D-②、E-①）

- ・ダム湖において栄養塩除去が生じ、琵琶湖水質が改善されることも考えられるが、栄養塩の質の変化が招く生物相の変化が懸念される（上述のとおり）。

#### ⑧湖流

- ・ダムの出現により、琵琶湖流入河川の水温に変化が考えられ、琵琶湖湖流（とくに沿岸流）に影響を及ぼす可能性がある。

#### ⑨沿岸生物相

- ・河口域生態系（大型水生植物、魚類相など）が温・冷水、濁水などにより破壊される。

### 11) その他

①大型ダム湖の出現は、周辺の水循環や気候変動にも影響をもたらすことが懸念される。規模の大きいダム湖の出現でいくつかの例がある。

②ダム本体の建造時には、猛禽類の生息場所に影響を与えることが知られている。

③ダム建設によるダムサイトより上流域の生態系が破壊されることは、よく知られたことである。

④ダム湖水圧が近傍の地下水頭に影響したり、ダムによる水位操作のため下流河川近傍の地下水へも影響を及ぼす。

⑤ダム湖は一般に海拔高度の高いところにあるため、冬季に融雪剤が散布される。これの河川水質・富栄養化への影響にはいくつかの判断があるが、明らかにすべきである。

<付記>

①上記の「ダム（湖）が環境（自然環境）に及ぼす影響」の具体例は、予測される一例であると考えべきであり、これ以外に影響を及ぼさないと考えることは誤った考え方であることを、私たちは過去の環境問題から充分学んでいる。

②自然界は動的平衡の中（いわゆる自然界のリサイクル）でしか機能しない（この動的平衡に収斂する自然界のしなやかな働きが地球 46 億年の地球生命体を構築してきた）。このことはもはや自明の理である。この動的平衡も緩やかには遷移していく（地球の歴史）が、急速な人為インパクトに対する応答の答えはわからないものが多い（公害などは比較的理解しやすい環境応答であろう）。なお、地球は大きなイベントを幾度も経験し、種の絶滅に及んだこともしばしばある。しかし、自然（生物を含む）は自然のサイクルを許容せざるを得ないことを理解していると見るべきで、人為的行為（イベント）により自然に負荷を与えることは、人間と自然とを対比させる行為であり、決して好ましいことではないことを私たちは理解している（環境学者の共通理解である）。

③人のあるべき生き方を再構築することが基本ではあるが、私たちはこれに逆らって自然と対比して生活を享受してきたこともある程度理解しなければなるまい。そこで、私たち流域住民にとって淀川水系（水系の中でもゾーニングをせざるを得ないが）は、どのような環境（生態系）であるべきかを再考し、自らの生き方の選択をしなければなるまい。すなわち、

1) 自然の環境容量の中で生活する（自然界の動的平衡に組み込まれた生活をする）：人間が自然と共生（本当は共存だろう）して自然のしくみの中で生活している場合、環境への影響は生じない。

2) 自然の環境容量を超えて生活する：超えた部分はほぼ隔離された人工的な空間で生活することにより可能のごとく一見考えられるが、現実には人間は外界との物質交代を絶って生活することは不可能であることを理解しなければならない。

3) 中間案：人の生活のための環境容量を人為的に拡大させる。この方法はきわめて不安定な社会をもたらす。昨今の洪水被害などがその例であろう。あるいは、人間生存がある程度の将来まで（本来人間が存えられる将来ではなくかなり近い将来だろう）持続可能な人間活動（人為的行為）に縮小する。この方法は、きわめて合理性があるが、人間社会がそのレベルまで活動を縮小させる（我慢する）ことに社会的合意を得ることが可能か。

いずれにしても、私たちの生活空間（淀川水系）のその場その場に応じて適正規模があることを充分理解しなければならない。



①

表 9.1 ダム湖と天然湖沼の生態系の特性の比較

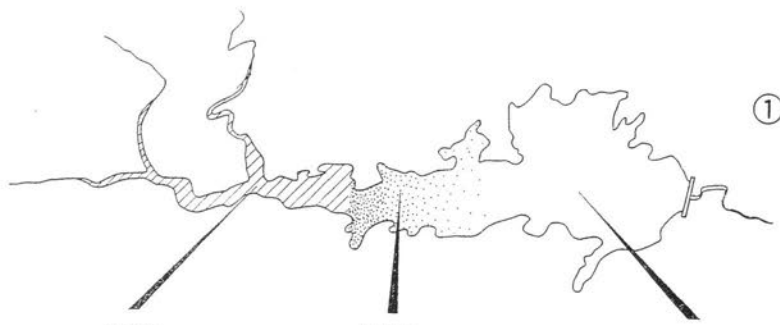
\*印の用語については、巻末の用語解説を参照。

属性	ダム湖	天然湖沼 (氷河湖沼例)
地理的分布	(北半球では)主として南部の氷河の影響を受けなかった地域。	主として氷蝕作用を受けた北部地域
気候	降水量が少なく蒸発量が多い,あるいは蒸発量が降水量より多い。	通常は蒸発による消失量より降水量が多い。
集水域	多くの場合,幅が狭い。細長い湖盆は集水域のふもとに位置する。集水面積は湖面に比して大きい(約 100:1 から 330:1)。	丸い。湖盆は集水域の中央に位置する。集水面積は湖面に比して小さい(約 10:1)。
湖岸線の発達	長く,不安定。	どちらかという短く,安定。
水位変動	大きく,不規則。	小さく,安定。
水温成層	多様で不規則。流水帯や遷移帯は,往々にして成層するには浅すぎる。止水帯では一時的な成層が発達することが多い。	本来の成層が発達する。しばしば二循環型*,または一循環型。
流入水	大部分の表面流出は(河道次数*の高い)支川を経由して湖に至る。成層した水塊へ侵入(表層流,中層貫入流,底層流)。流れはしばしば,谷線*に沿って下る。	表面流出は(河道次数*の低い)支川を経由するか,または直接流入として湖に至る。成層した水層への侵入は小規模で,分散的。
流出水(取水)	本利用により大きく不規則に変動する。表層または深層から取水される。	比較的安定している。表層から流出。
平均滞留時間*	短く,変動しやすい(数日~数週間)。表層取水にともない長期化する。深層取水により成層構造が破壊される。	長く,比較的一定している(1年~数年)。
土砂の負荷	広い集水面積のために大きい。氾濫原は広い。三角洲も大規模で溝ができ,傾斜は急。	小さいかまたは非常に小さい。三角洲は小規模で幅広,傾斜は緩い。
土砂の堆積	流水帯で多く,ダム湖の下流に向かい指数的に減少する。谷線で最も大きい。季節的に大きく変動する。	少なく,分散は限定的。季節的な変動はあまりない。
水中の懸濁物	多く,量の変動しやすい。粘土,シルト粒子の割合が高い。濁度も高い。	少ない,あるいは非常に少ない。濁度も低い。
他生性の懸濁態有機物*(POM)	多くも少なくもない。細かい懸濁態有機物は,とくに,氾濫原の異常増水や浸水時に供給される。	少ない,あるいは非常に少ない。
水温	天然湖沼よりもやや高い(多くはより南方性の気候下に位置するため)。	一般に低い(より北方性の気候帯に集中しているため)。
溶存酸素	溶解度はやや低い(高水温のため)。流入や流出,また懸濁態有機物負荷のパターンにより,水平方向の変動が大きい。変水層*では酸素極大よりも酸素極小がみられることが多い。	溶解度は幾分高い(低水温のため)。水平方向の変動は小さい。変水層では酸素極小よりも酸素極大がみられることが多い。
光の減衰	水平方向(km単位)の変化が大きい。光の減衰率は不規則で,とくに流水帯や遷移帯では非生物学的な懸濁物のために非常に大きい。有光層*は止水帯で増加するのが一般的である。	鉛直方向(m単位)の変化が大きい。光の減衰率は変動するが,溶存有機物や生物学的な懸濁物のために比較的低い。

(表 9.1 続き)

外部からの栄養供給量	一般に天然湖沼よりも多い(より大きな集水域,より盛んな人間活動,より大きな水位変動により)。変化しやすく,しばしば予測不能。	変動するが,比較的予想しやすい。湿地緩衝能をもつ湖岸帯の生物化学的作用により,負荷が低減されることが多い。
栄養塩の動き	水平的な変化が大きい。堆積速度,水の平均滞留時間,流況に応じて変動する。水中濃度は河川流入域からの距離に応じて減少する。内部負荷は一定ではない。	鉛直的な変化が大きい。内部負荷は小さく,人為的富栄養化が深刻ではない湖ではとくに小さい。
溶存態有機物(DOM)	他生性,および湖底由来のものが多い。量は不規則に変動し,しばしば高い値をとる。難分解性*の溶存態有機物が多い。	他生性,および湖岸帯/湿地帯由来のものが多い。比較的一定であるが,しばしば高い値となる。難分解性の溶存態有機物が多い。
湖岸帯/湿地帯	激しい水位変動のために常に発達するわけではなく,場所も限定的。	大部分の湖では,一次生産の大きな割合を占める。栄養塩や溶存態・懸濁態有機物の負荷量制御に重要。
植物プランクトン	水平方向に顕著に変化する。単位体積当たりの一次生産速度(あるいは $P_{max}$ )は,河川流入域からダムサイト(堰堤)*にかけて減少する。単位面積当たりの一次生産速度は水平方向には一定である。光や無機態栄養塩が制限因子になることが多い。	鉛直方向および季節的な変化が大きい。水平方向の変化は小さい。光や無機態栄養塩が制限因子になることが多い。
細菌による従属栄養*	流水帯の浮遊細菌や,懸濁粒子に付着した細菌,底生細菌による従属栄養が優先する。	大部分の湖では,底生細菌,および湖岸/湿地生細菌による従属栄養が優先する。
動物プランクトン	大規模な発生は遷移帯でみられることが多い。水平方向にパッチ状に繁殖する傾向が強い。懸濁態デトリタス(吸着された溶存有機物も含む)がさまざまな程度に植物プランクトンを増殖させ,それが餌となる。	鉛直方向および季節的な変化が大きい。水平方向のパッチ状繁殖はそれほど顕著ではない。植物プランクトンが主たる餌となる。
底生生物	湖岸帯が狭く定期的でないため,多様性は小さい。生産力は小さいか中程度。湛水初期には水没した植生があるため数が多い。	多様性は中程度が高い。生産力は中程度か大きい。
魚類	主として温水性の種組成。種組成の違いは,最初の放流に関係していることが多い。産卵成功率は一様ではない(水位が低いと成功率が低い)。シルト化により卵の死亡率は高くなる。幼魚の生存率は避難場所が少ないと下がる。湛水初期(5~20年間)の漁獲量は高く,それから減少する。とくに山間地のダム湖では,上下2層の漁業(冷水種と温水種)ができる場合もある。	温水種と冷水種の魚からなる種組成。産卵成功率は高い。卵の死亡率はダム湖より低い。幼魚の生存率もよい。生産力は中程度。
生物群集の相互関係	多様性は低い。生態的地位の特殊化は弱い。成長はr戦略*で速い。移入や絶滅の過程も速い。総生産量は湛水直後に大きく,それから減少する。	多様性は高い。生態的地位の特殊化はやや強い。成長はK戦略*で変化に富み,比較的恒常的。移入や絶滅の過程は遅い。生産量は低いか中程度で比較的一定。
生態系の遷移速度	天然湖沼と似ているがずっと速い。湖盆や集水域での人為的影響を大きく受ける	ダム湖と似ているが,ずっと遅い。

(B)



流水帯	遷移帯	止水帯
<ul style="list-style-type: none"> <li>幅が狭い、水路状の湖盆</li> <li>比較的速い流れ</li> <li>懸濁物質が多く、濁りが強く、光条件が悪い <math>Z_p &lt; Z_m</math></li> <li>移流による栄養塩供給、栄養塩濃度が比較的高い</li> <li>植物プランクトンの生産には光条件が制限要因になる</li> <li>プランクトン細胞は主に沈降によって失われる</li> <li>主に他生産による有機物供給 生産量 &lt; 呼吸量</li> <li>「富栄養」的</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>川幅が広く、深くなる</li> <li>流速が遅くなる</li> <li>懸濁物質が減り、濁りも弱くなり、光条件が良くなる</li> <li>移流による栄養塩供給が減少</li> <li>1 m<sup>3</sup>当たりの植物プランクトン生産量が比較的多い</li> <li>プランクトン細胞は、沈降と捕食によって失われる</li> <li>中間的</li> <li>中間的</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>広くて深い湖様の湖盆</li> <li>流れがほとんどない</li> <li>比較的透明度が高く、深い場所にも光が届く <math>Z_p &gt; Z_m</math></li> <li>内部循環による栄養塩供給</li> <li>植物プランクトンの生産には栄養塩量が制限要因になる</li> <li>プランクトン細胞は、主に捕食によって失われる</li> <li>主に自生産による有機物供給 生産量 &gt; 呼吸量</li> <li>「貧栄養」的</li> </ul>

典型的なダム湖において流下方向に変化していく環境要因

これらの環境要因は、植物プランクトン生産量、藻類生産力、現存量に必要な光条件や栄養塩の利用性、有機物供給量、湖の栄養状態を決める。 $Z_p$ : 有光層の深度、 $Z_m$ : 混合層の深度。Kimmel and Groeger(1984)を改変。

日本の湖沼の湖水の滞留時間あるいは交換速度 (環境庁, 1980, 一部改)

湖沼	容積 (×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	平均水深 (m)	滞留時間(年)
池田湖	1,300	120.0	53.0
屈斜路湖	2,200	28.4	(12.0)
洞爺湖	8,200	117.8	(9.3)
十和田湖	4,190	71.0	8.5
田沢湖	7,200	280.0	7.9
中禅寺湖	1,100	94.7	6.5
本栖湖	320	49.0	6.5
琵琶湖	27,500	41.2	4.85
阿寒湖	210	17.8	1.2
野尻湖	25.6	5.6	1.01
検原湖	128	12.0	0.87
沼沢沼	85	27.0	0.84
霞ヶ浦	800	4.0	0.70
大沼	32.8	6.4	0.60
湖山池	19	2.8	0.24
宍道湖	344	4.2	0.24
中海	533	5.5	0.16
網走湖	233	7.2	0.15
諏訪湖	64	4.6	0.12
湯ノ湖	1.7	5.2	(0.11)
秋元湖	32.8	9.9	0.09
河北潟	14.7	1.8	0.057
印旛沼	19.7	1.5	0.044

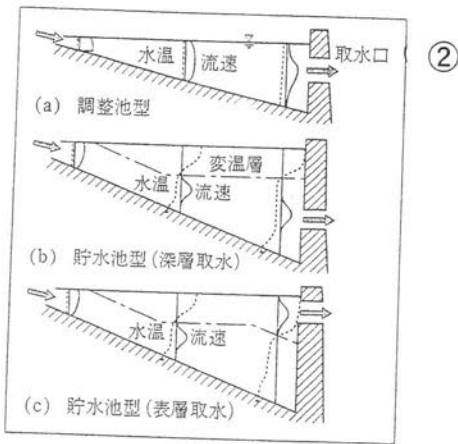


図 6.5 調整池型・貯水池型のダム湖における水温成層モデル

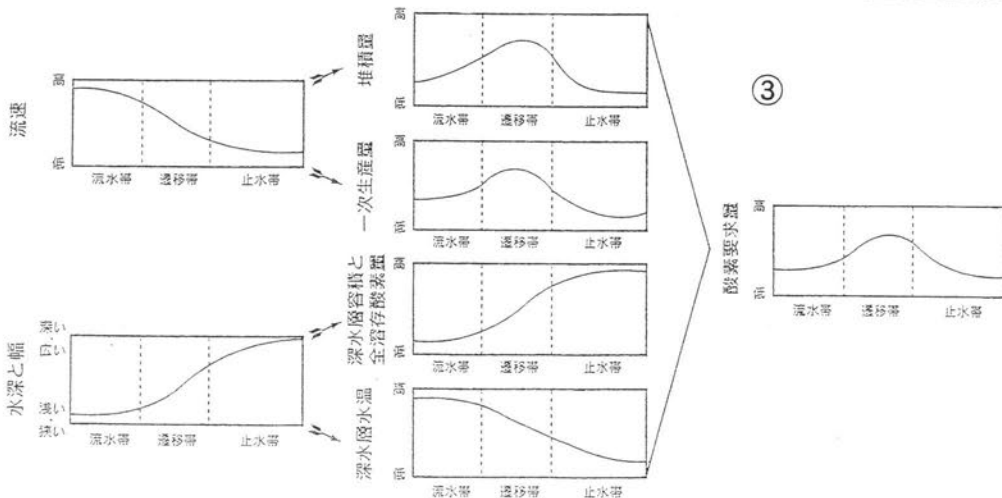


図 4.1 ダム湖全体にわたる栄養要求量を決定する要因(堆積量, 単位体積当たりの一次生産量, 深水域の容積および全溶存栄養量, 深水域の水温)およびこれらと流速と水深との関係



③

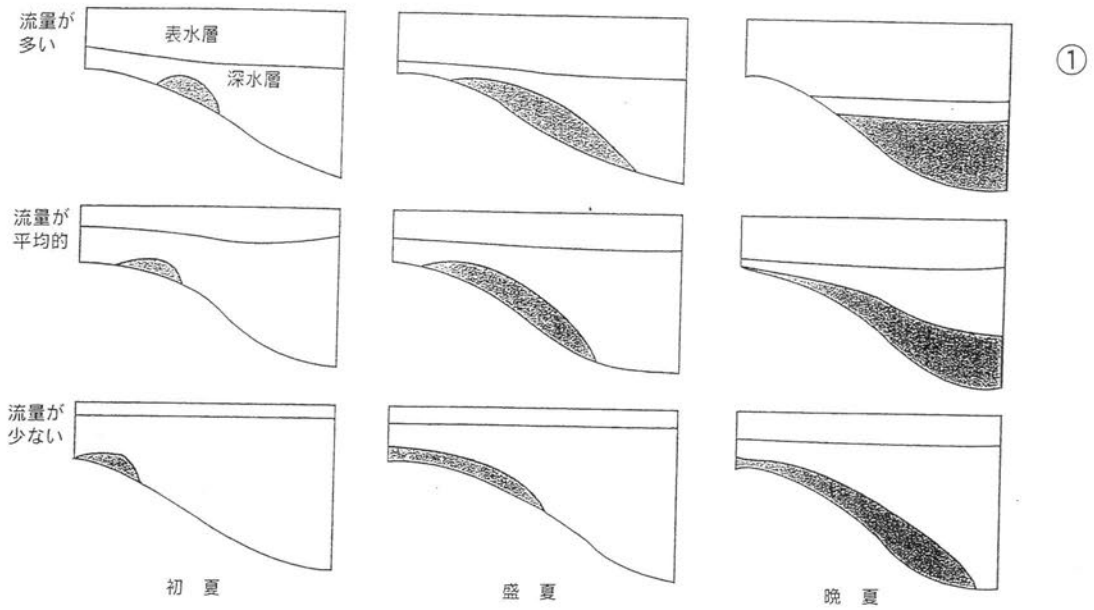


図 4.2 深い貯留型ダム湖において貧酸素水塊が最初に発生する場所と、上流方向と下流方向への発達程度

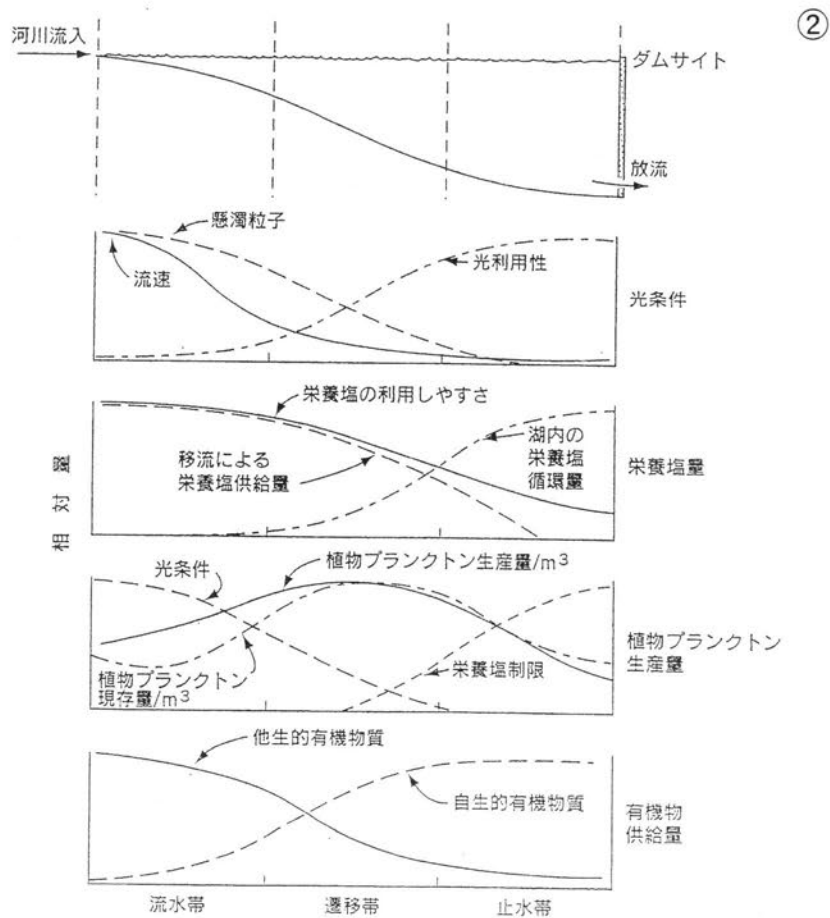


図 6.2 植物プランクトン生産力と現存量に影響する環境要因の変化  
典型的なダム湖における流下方向の他生的および自生的有機物の相対的重要性を示した。

D

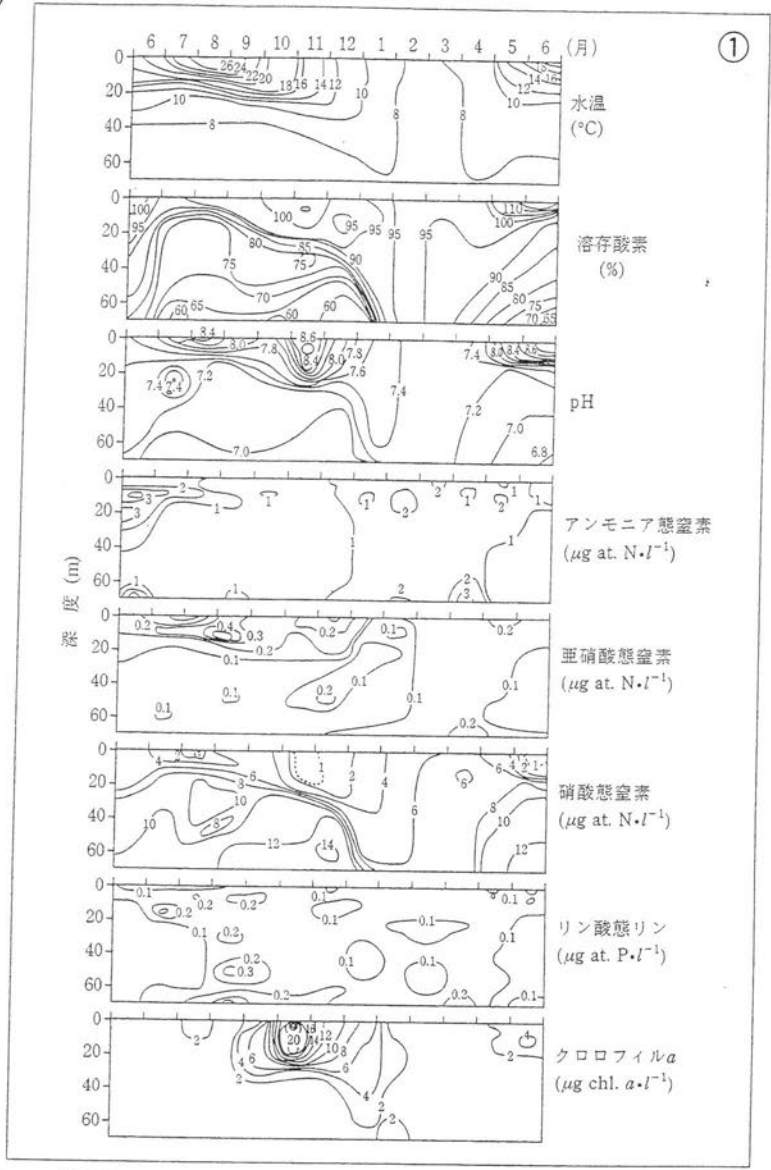
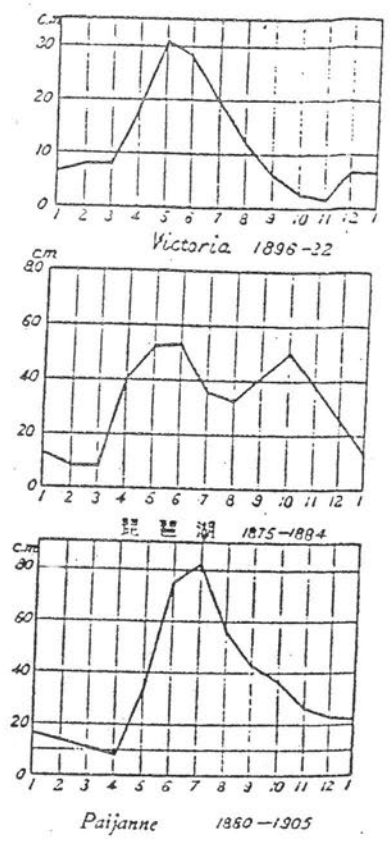


図 11.1 琵琶湖北湖における水温、溶存酸素、pH、アンモニア、硝酸、亜硝酸、リンおよびクロロフィルa量などの季節変化 (三田村・西條, 1981)

3

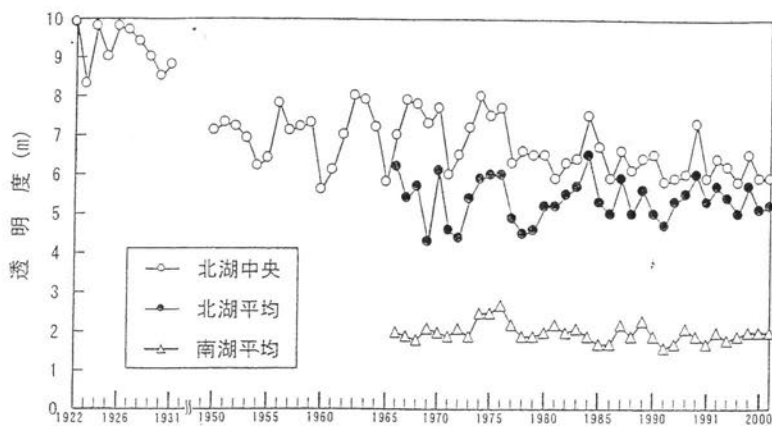


第 47 図 琵琶湖(上)、中湖(中)、下湖(下)における水位変化(各年別)

1960	64 65	69 70	74 75	77	83	87 88 89	91	93 94 95	99 00	2002
浄水場の過剰害	コカナダモ異常繁殖 セタンジミ減少	京阪神の飲料水にカビ臭	オオカナダモ異常繁殖	淡水赤潮発生	南湖にアオコ発生	イサザ減少	北湖底に硫黄細菌テオブローカ発生	アユ冷水病増加 アオミドロ大発生・ワカサギ増加・北湖にアオコ発生 ブルーギル大増加	エリ付着物(付着藍藻)の増加 北湖に大型ミジンコ発生	北湖底メタロゲンウム(マンガン粒)発生

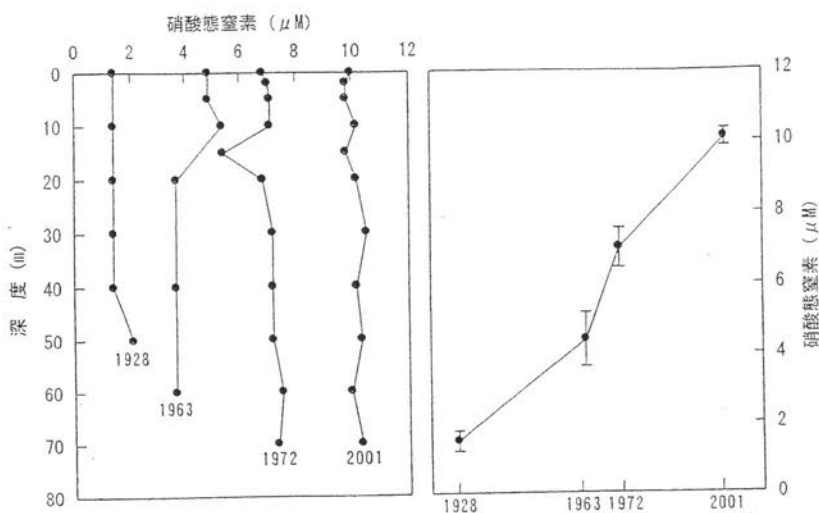
2

E



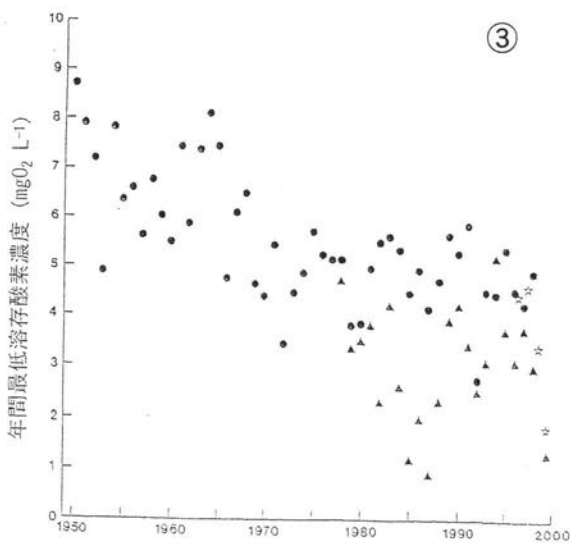
①

図2：琵琶湖における透明度の変遷。



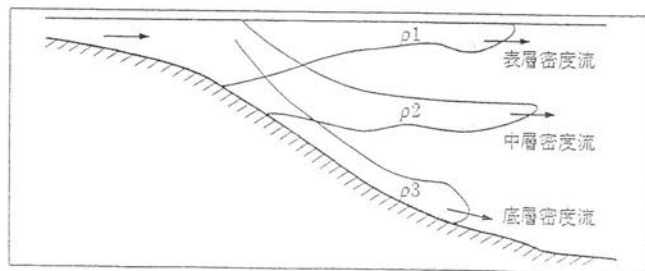
②

図4：琵琶湖北湖の循環期における硝酸態窒素の鉛直経年変化。



③

図5：循環期直前（停滞期末期）の琵琶湖北湖の深層水中の溶解酸素の経年変化。



④

図4.6 河川からの流入水の密度流の型 (村岡浩爾, 国立公害研究所発表予稿集, SS OT-4, 80, 1981より)

F

①

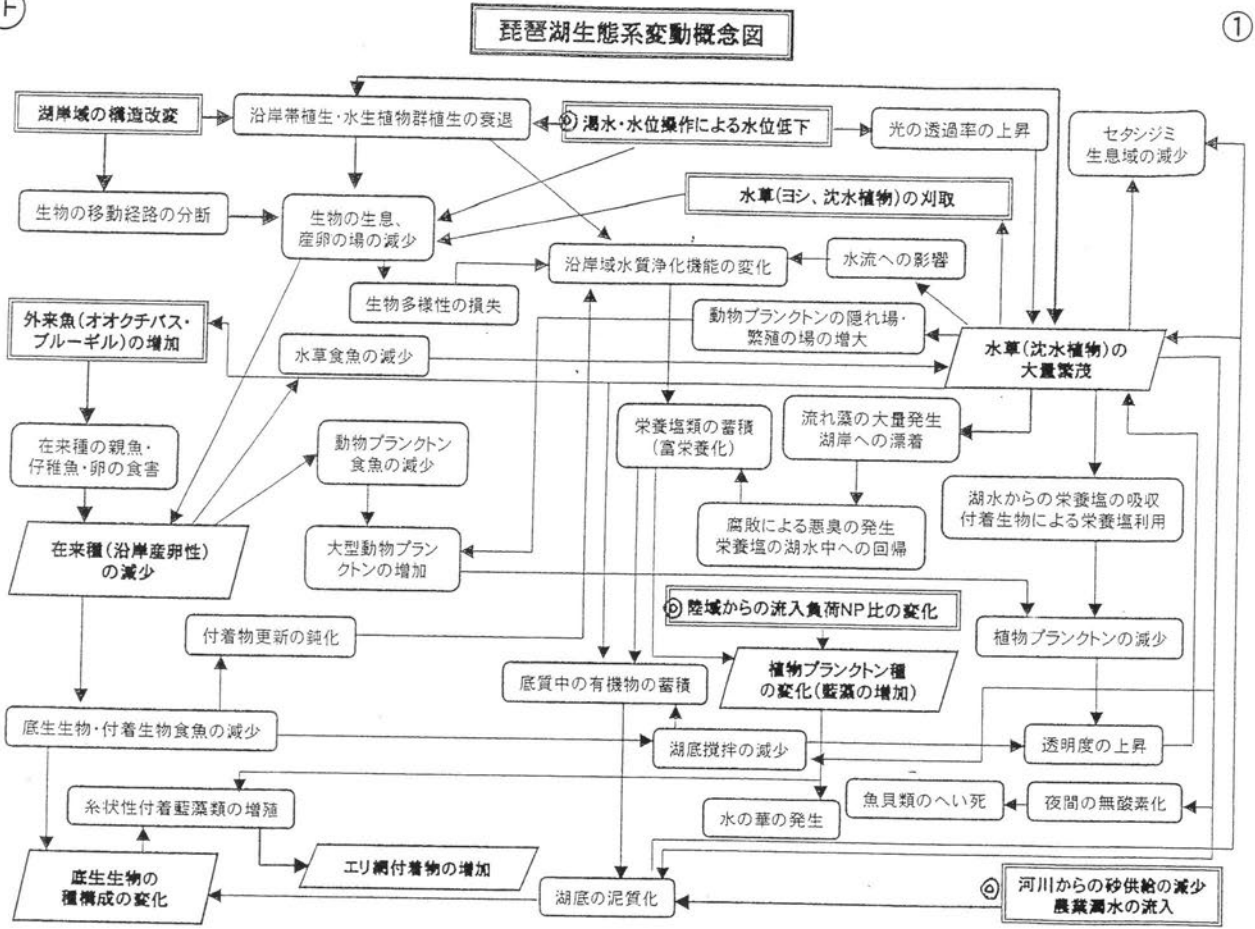


図6：琵琶湖生態系変動概念。ここで示した生態系変動は主に沿岸帯に関することからである。琵琶湖環境の悪化と変化は近年ますます多様かつ深刻になりつつある。琵琶湖環境の修復・保全にはなぜその環境問題が所在するのかの環境認識解明から始め、絡み合った糸を少しずつほぐす必要がある。(平成14年度滋賀県琵琶湖生態系検討会中間とりまとめ案より、一部改変)

表I-1 将来の都道府県別総人口

地 域	(1,000人)							H42/H12
	平成12年 (2000)	平成17年 (2005)	平成22年 (2010)	平成27年 (2015)	平成32年 (2020)	平成37年 (2025)	平成42年 (2030)	
全 国	126,926	127,708	127,473	126,266	124,107	121,136	117,580	0.93
北海道	5,683	5,634	5,541	5,405	5,227	5,011	4,768	
青森県	1,476	1,465	1,445	1,414	1,373	1,322	1,265	
岩手県	1,416	1,408	1,390	1,364	1,327	1,282	1,232	
宮城県	2,365	2,397	2,413	2,414	2,396	2,363	2,317	
秋田県	1,189	1,160	1,124	1,080	1,029	972	914	
山形県	1,244	1,226	1,199	1,165	1,124	1,079	1,032	
福島県	2,127	2,113	2,085	2,044	1,990	1,926	1,856	
茨城県	2,986	3,007	3,007	2,982	2,933	2,862	2,774	
栃木県	2,005	2,021	2,022	2,008	1,978	1,934	1,880	
群馬県	2,025	2,033	2,023	1,996	1,952	1,897	1,834	
埼玉県	6,938	7,095	7,188	7,216	7,178	7,075	6,917	
千葉県	5,926	6,036	6,093	6,095	6,037	5,923	5,764	
東京都	12,064	12,301	12,431	12,473	12,436	12,325	12,150	
神奈川県	8,490	8,694	8,817	8,867	8,847	8,762	8,624	
新潟県	2,476	2,454	2,415	2,359	2,287	2,202	2,111	
富山県	1,121	1,114	1,097	1,070	1,035	994	950	
石川県	1,181	1,174	1,156	1,130	1,095	1,055	1,010	
福井県	829	827	817	801	780	755	728	
山梨県	888	889	883	871	853	831	806	
長野県	2,215	2,222	2,209	2,176	2,127	2,068	2,006	
岐阜県	2,108	2,103	2,080	2,039	1,980	1,909	1,831	
静岡県	3,767	3,774	3,746	3,684	3,588	3,468	3,330	
愛知県	7,043	7,159	7,205	7,188	7,114	6,992	6,834	
三重県	1,857	1,862	1,850	1,822	1,780	1,728	1,669	
滋賀県	1,343	1,396	1,441	1,477	1,503	1,520	1,530	1.14
京都府	2,644	2,655	2,647	2,621	2,578	2,517	2,443	0.92
大阪府	8,805	8,780	8,673	8,501	8,269	7,984	7,661	0.87
兵庫県	5,551	5,619	5,643	5,621	5,554	5,451	5,325	0.96
奈良県	1,443	1,451	1,448	1,433	1,407	1,370	1,325	0.92
和歌山県	1,070	1,055	1,031	1,001	963	922	878	
鳥取県	613	610	605	595	582	565	547	
島根県	762	749	733	713	688	659	630	
岡山県	1,951	1,948	1,932	1,901	1,856	1,801	1,742	
広島県	2,879	2,869	2,836	2,781	2,705	2,613	2,510	
山口県	1,528	1,498	1,459	1,408	1,347	1,278	1,207	
徳島県	824	814	798	777	750	720	687	
香川県	1,023	1,015	1,000	977	945	909	871	
愛媛県	1,493	1,476	1,448	1,410	1,362	1,306	1,246	
高知県	814	809	799	783	761	734	706	
福岡県	5,016	5,092	5,138	5,150	5,126	5,068	4,985	
佐賀県	877	867	852	833	809	782	751	
長崎県	1,517	1,483	1,441	1,391	1,333	1,267	1,198	
熊本県	1,859	1,855	1,839	1,813	1,775	1,726	1,671	
大分県	1,221	1,207	1,185	1,154	1,114	1,068	1,018	
宮崎県	1,170	1,162	1,147	1,125	1,094	1,056	1,013	
鹿児島県	1,786	1,775	1,757	1,732	1,697	1,653	1,603	
沖縄県	1,318	1,355	1,386	1,409	1,425	1,430	1,423	
減少県*	23	28	36	39	45	45	46	

\*減少県は、5年前より人口が減少した都道府県の数。