

富士五湖の水位変動機構

THE WATER BALANCE ANALYSES OF THE FIVE LAKES OF Mt. FUJI

竹内 邦良*、切石 史子**、今村 英之**

By Kuniyoshi TAKEUCHI, Fumiko KIRIISHI, Hideyuki IMAMURA

Abstract

The water balance analyses of the five lakes of Mt. Fuji were conducted for 1981-94. It was found that

1. Lake Kawaguchi seems to leak in the order of 20 mm/d.
2. Each lake has an Influence Aquifer Zone around it, which not only supplies water to the lake but often receives water from the lake when water level increased during the dry periods.
3. Three lakes Sai, Shoji and Motosu seem connected under ground by porous volcanic rocks Their water levels are highly interdependent.
4. Among the three lakes, Shoji and Motosu are more closely connected than Sai and Shoji.

Keywords : Volcanic Lakes, Mt. Fuji, Lake Water Balance, Leaks.

1. はじめに

富士五湖は、富士山への降水が、いったん透水性の高い溶岩層(スコリア層)を通して地下水盆に貯留され、山頂から約15km地点、標高約800~1000m付近に流出したものと考えられるが、その水収支は、山地降水量、融雪量の推定の難しさ、地下における流域界の特定が不可能であること、漏水規模の推定の難しさなどのために、明確には特定し難い。

この水収支についてはこれまで箭内寛治(1953)、山本莊毅(1971)などの研究があるが、筆者らの研究室においても、1982年の河口湖異常増水以来、河口湖の水位変動シミュレーション、西湖・精進湖・本栖湖の連絡機構など種々の検討を行ってきている(高須(1990)、山本(1991)、今村(1992)、切石(1994))。例えば、河口湖については以下のような仮定が妥当ということが明らかになってきている。

(a)水収支式から逆算される湖への流入量が負になることがしばしばあるが、これは湖から他流域へ流出する漏水があるためと考えられる。

(b)湖周辺には湖と一体になって水位変動する地下水帯(影響域)が存在し、流域からの浸透水と湖水の間の緩衝域となっている。

(c)融雪は4~6月においてほぼ一定(流域平均で約0.8mm/d)でおこっているとみなしてよい。

*正会員 工博 山梨大学工学部教授 (〒400 山梨県甲府市武田 4-3-11)

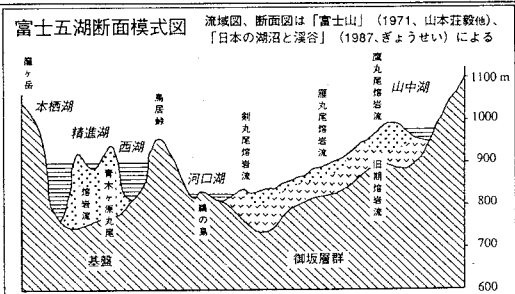
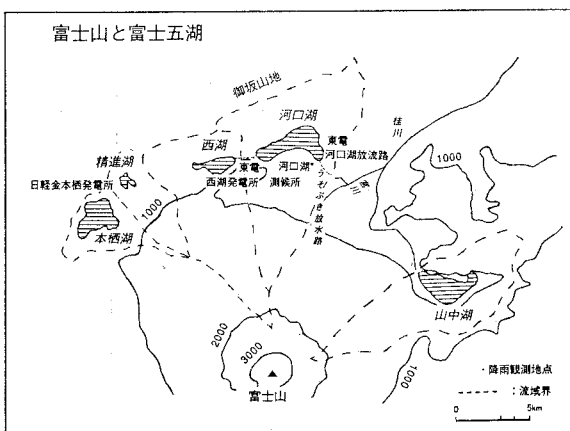
**学生会員 山梨大学工学部大学院 (〒400 山梨県甲府市武田 4-3-11)

(d)富士山での降雨量は、麓の湖での降雨量に比べ多いと考えられる。従って水収支計算では流域平均降雨量として、湖畔での観測降雨量に割り増し率(≒1.1~1.2)をかけておく必要がある。

2. 富士五湖の概要

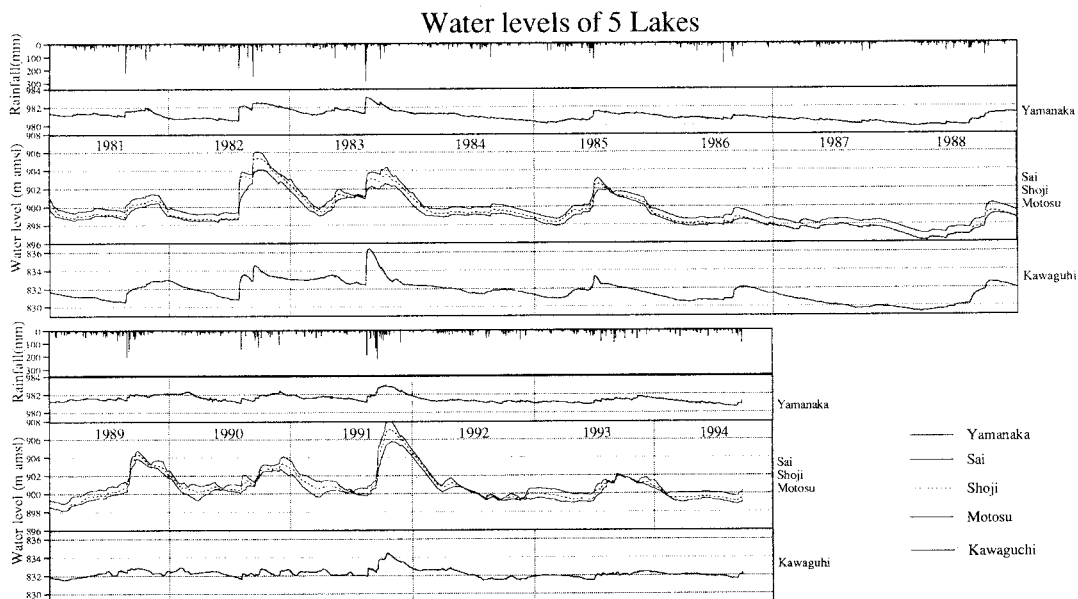
富士山は2~8万年前に古富士ができ、約1万年前頃に新富士となって現在に近い形になったが、その後も噴火を繰り返している。

新富士誕生のころの富士五湖は、宇津湖と、剝海(せのうみ)およびそこから流れ出る大田川であった。それが、延暦19(800)年の噴火で、宇津湖は山中湖と忍野平野に分かれ、大田川は埋まって河口湖ができ、剝海からは本栖湖が分かれた。さらに貞観6(864)年の噴火で、残りの剝海が精進湖と西湖に分かれ、現在の富士五湖が形成された。このため、西湖・精進湖・本栖湖は透水性の高い溶岩で隔てられ、事実上つながっていると考えられる。図-2は現在の富士五湖の平面図と断面図である。破線は山本荘毅(1971)による流域界である。五湖は本栖湖以外いずれも流入河川をもつが、それらは全て御坂山地側にあり、富士山側からの流



	本栖湖	精進湖	西湖	河口湖	山中湖
湖面積 (km ²)	4.9	0.65	2.1	6.1	6.5
水面海拔高度 (m)	899.2	899.2	899.2	833.5	978.5
最大水深 (m)	126.0	11.2	66.5	15.4	13.5
平均水深 (m)	65.3	3.7	34.8	9.8	9.2

図-1 富士五湖およびその周辺区域図、断面模式図



Daily rainfall is the average of observations at Kawaguchi, Sai, Motosu Stations

図-2 富士五湖の降雨・水位経年図

入河川はない。山中湖は五湖中唯一、自然流出河川(桂川)を持っており、人工放流としても東電の発電用放流がある。河口湖への人工流入としては東電の西湖発電所からの放流があり、人工放流としては同じく東電による宮川への導水、県庁隧道、嘯(うそぶき)水路(平成5年完成、最大22.2m³/s)などがある。精進湖には人工流入・放流とも存在しない。本栖湖へは人工放流として日軽金による富士川への放流がある。

水位観測は各湖で東電により毎日午前8時の観測が行われている。また降雨量は気象庁、東電および日軽金でそれぞれ午前0時、午前8時に行われている。

図-2に富士五湖の降雨、水位の経年図を示す。この図より、①14年間の最大水位変動巾は、流出河川のある山中湖では3m程度であるのに対し、河口湖では7m、三湖では10m以上である。②西湖・精進湖・本栖湖は水位が密に連動しており、またこの順に水位が低くなっている。③水位が低くなるほど精進湖・本栖湖の水位は接近する、などの特徴が認められる。

3. 河口湖の水位変動機構

3.1 河口湖の水収支式

河口湖は富士山のほぼ真北に位置し、富士山の北側斜面から御坂山地の南側斜面までが集水域と考えられる(図-1)。距離的には西隣の西湖とが最も近いが、その間は厚い不透水層(御坂層)で隔てられているため、地下水の交換はほとんどない。また河口湖には、西湖から最大4(m³/s)の発電放流があり、同様に河口湖からも流域外へ放流している。

$d t$ (1日)の水位上昇を $d H$ (m)、湖面への日降雨量を P (mm/d)、湖面からの日蒸発量(ペンマン法により推定)を E (mm/d)、河口湖からの放流量より西湖からの放流量を差し引いたものを $(D_k - D_s)$ (m³/s)、河口湖周辺流域から河口湖への流入を Inf (m³/s)、湖から他流域への漏水を L (mm/d)、湖面積を A_L (km²)として、河口湖の湖水位に関する水収支式を立てると以下ようになる(図-3参照)。

$$\frac{dH}{dt} \cdot A_L = (P - E) \times 10^{-3} \cdot A_L - (D_k - D_s) \times 8.64 \times 10^{-2} + Inf \times 8.64 \times 10^{-2} - L \times 10^{-3} \cdot A_L \quad (1)$$

3.2 長期的水収支と漏水

湖への流入量 Inf は、上式よりの逆算で求めることができる。このとき漏水が問題となるが、とりあえずこれを無視し、 $L=0$ として Inf を求めてみる。その結果を湖面積で除して流入高(mm/d)とし、年合計値で示したものが図-4の純流入量 $Net\ Inf\ low(Inf - L)$ である。湖面への有効降雨(降雨量 - 蒸発量)は多くても年1,400mm程度であるのに対し、純流入量は年5,000~14,000mmにもなる。湖からの流入量はほぼ放流量とバランスして湖水位を適当に保っている。しかしながら、1987年には有効降雨は0に近く、しかも水位が低下しているので、水収支式からの計算では純流入量は年-634mmで負となる。これだけの量が湖から流域に流出したということになる。図-5は同様に逆算した、1981年から1994年8月までの日流入高の頻度分布図である。これによっても、負の値が多くみられ、-3mm/d付近に一つのピークがあることが分かる。

このように純流入量が負になる原因としては、長期的には湖底からの漏水 L (Leak) のあることが考えられる。 L の特定はむずかしいが、図-5の純日流入量が最大-50mm/dまで負となり、0~20mm/dまでは頻繁に起こ

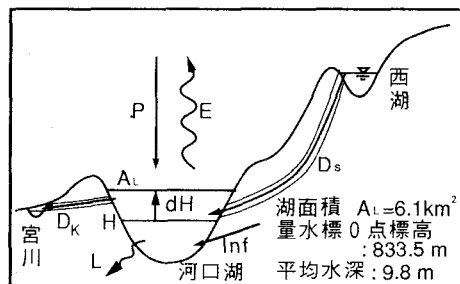


図-3 河口湖流域断面図

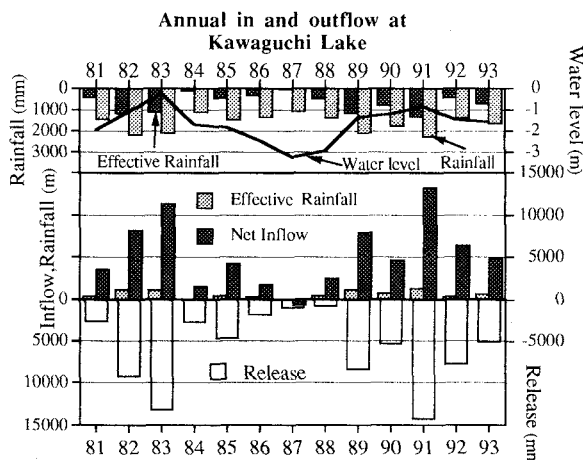


図-4 河口湖の年別水収支

っていることなどから、20mm/d程度の漏水はあると考えて差し支えないと思われる。これは山本(1991)が1981～90年の水位の長期シミュレーションのために提案したL (mm/d) = 0.27 × (H + 9.8)² (H : 量水標の読み(m), 9.8は平均水深(m))とも符合する。これによると、Lは日13～30mm、年4,000～8,000mmである。

3.3 水位変化と流入量関係

図-5に示された頻度の高い負の流入量の生起は、漏水によるものばかりではない。より短期的な現象に注目してみたい。図-6は河口湖推定流入量Infの経日変動の詳細図の例である。A部分では降雨の当日は流入が負となり、翌日正となっている。また、B部分では降雨当日、流入が負になり、翌日も増加はみられない。C部分では降雨の前日に流入が増加し、降雨当日流入が負になっている。これらの原因についてそれぞれ以下のような現象が考えられる。

① 浸透水の時間遅れ (Aの場合)

降雨があると湖水面は直ちに上昇するが、周辺流域からの浸透にはしばらく時間がかかるため、一時的に湖水位 > 地下水位という状態が生じる。この水位差によりいったん湖から周辺へ流出し(流入量が負になり)、翌日地下水位の上昇により正の流れとなる。このようなことは図-6のように水位の高いときでも、少雨続きで地下水位が低下しているときでも、水位にかかわらずときどきおこる。

② 損失の大きい降雨 (Bの場合)

降雨があったが水位は上昇せず、その間放流もしていないため、流域へ流出したように計算される。これは、降雨が局地的なものであったため湖面全体としては降雨による水面上昇が無かったか、あるいはこの現象が長期的に無降雨が続いているときに起こっているため、上の①で述べたように、その時地下水面は低く、流域は水を保水し易くなっていると考えられ、多少の降雨により湖水面が上昇しても、地下水面までは上昇せず、湖から周辺地域へ流出が起こったものと考えられる。

③ 降雨・水位観測時間のずれによる見かけ上の現象 (Cの場合)

降雨観測時間は毎日午前0時であるのに対し、湖の水位観測は毎日午前8時に行われる。日単位での水収支を計算すると、0～8時に降雨があった場合には、観測時間の違いからC部分のような奇妙な現象が生じることになる。水位変化からみるとt-1日は雨が降らないが水位が上昇し、流入があったように、またt日は雨が降ったが水位が上昇せず、流出だけが生じたように計算される。

3.4 大增水時の水位上昇のおくれ現象

1983年8月14～17日の大雨(計856.5mm)を含む7月1日～10月31日までの水位流入量関係を図-7に示す。降雨のはじまった14,15日は、上記Aの場合のように純流入量は負の値を示し、16日より流入量は正となり、水位上昇がはじまる。水位がピークに達するのは降雨のピークから5～

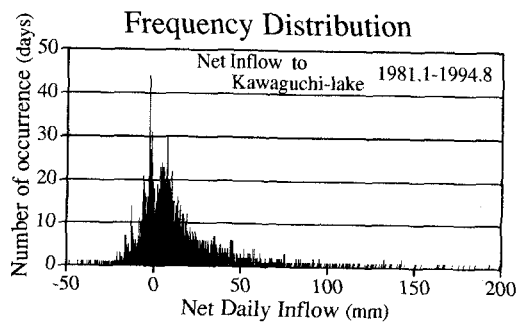


図-5 日流入高の頻度分布

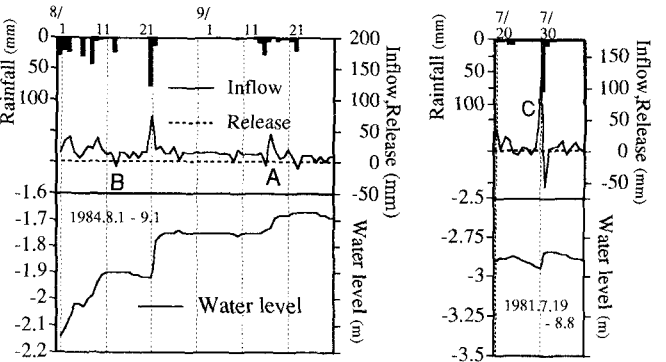


図-6 推定流入量の経日変化

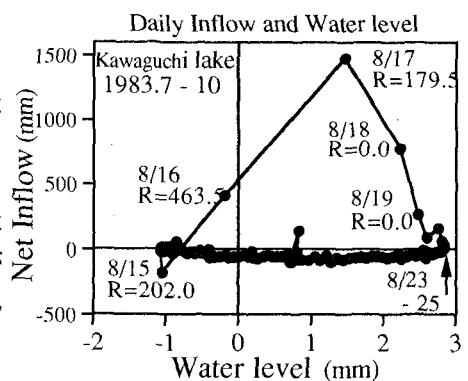


図-7 異常増水時の水位-流入関係

7日後である。4日降雨が850mmを越えるこの降雨は、過去10数年のうちでも極めて特異なものであるが、同様のループは大規模の洪水にしばしばみられる。

4. 西湖・精進湖・本栖湖の水位変動関係

図-2から明瞭にわかるように、西湖・精進湖・本栖湖の水位は、通常1m弱の水位差の範囲で連動している。この関係をさらに詳細に見るため、図-8a~c、図-9a、bおよび図-10a、bを作った。

図-8a~cは各湖からの放流に対し、同日それぞれの湖にどれだけの水位変化があるかを、無降雨の日について見たものである。湖周辺には地下水帯が広がっており、湖水からの放流による水面低下があると、それを補うように周辺から地下水が流入してきて湖水位を元に戻そうとする。これを戻り率 λ ($1 - \text{放流高} \cdot \text{水位変化高関係の回帰直線の勾配} \times (-1)$)で見してみる。戻り率 λ は本栖湖は0.55、西湖は0.79、河口湖は0.65である。

図の点のばらつきからわかるように、放流高・水位変化高の関係は、各時点での流域の水文学的状況により大きく異なるが、それを考慮しても戻り率は富士五湖では50%以上であるといえる。これは五湖が溶岩質の地下水帯の中にあり、周辺が影響域として、湖と連動していることを示している。

次に、西湖と本栖湖では西湖の方が本栖湖よりも戻り率が高い。これは、透水性の低い第三紀前期の御坂統に属する地層に、本栖湖の方がより多く囲まれていること(西宮・木下, 1991)と、本栖湖からは富士川方面へ漏水があることが影響しているものと考えられる。

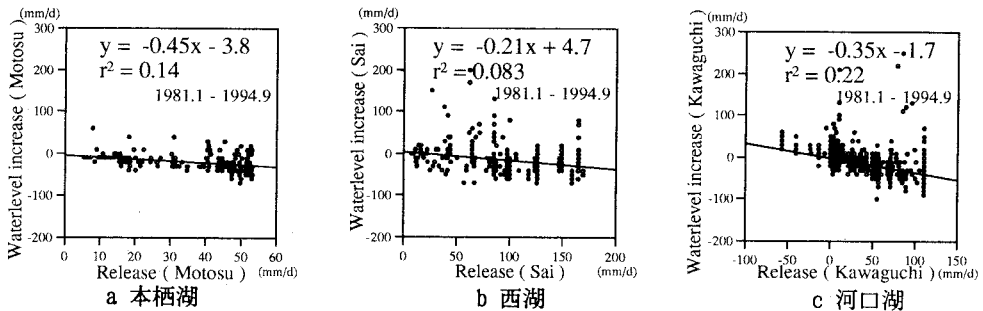


図-8 放流高と湖水位の低下高との関係

次に図-9a、bは西湖および本栖湖からの放流に伴って、放流のない精進湖の翌日の水位がどう変化するかを示すものである。ただし両湖から同時に放流が行われた場合は除いてある。やはりばらつきは大きいですが、回帰直線の傾きから見ると、西湖、本栖湖いずれの湖から人工放流を行っても、放流量に応じて精進湖の水位が減少することがわかる。人工放流は一定量放流が連続して行われるので、翌日の水位低下でも4日後のでもほぼ同じ

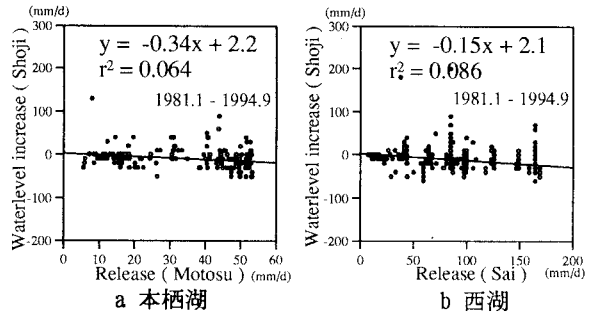


図-9 放流高と精進湖の水位低下高

結果を示す。その連動減少率は西湖からの放流に対し15%、本栖湖からのそれに対し34%になっていて、本栖湖との連動が密であることがわかる。これは三湖間の距離、上下流の位置関係(西湖からの放流は精進湖にとって補給減、本栖湖のは流出促進として働く)、透水性の違いなどの相互関係の結果である。

最後に、図-10a、bは西湖および本栖湖からの放流に伴って、それぞれの湖と放流のない精進湖との水位差がどう変化するかを示すものである。(西湖-精進湖)は右下がり、(精進湖-本栖湖)は右上がりになっているが、これは西湖、精進湖、本栖湖の順に上流から下流へ並んでいることから、当然である。しかしながら、水位差の変化度合いを見ると、放流高に比べ、差の変化高は西湖5.3%、本栖湖11%と小さい。これは、西湖(本栖湖)から放流しても周辺影響域から補給が行われ、西湖(本栖湖)の水位は戻る一方(図-8)、その低下の

一部は精進湖の低下にもつながるため(図-9)、両湖の水位差はさほど開かないことの結果である。

5. 結論

富士五湖のうち、河口湖・西湖・精進湖・本栖湖の降雨・人工放流・水位変動の関係を調べ、これまでに指摘されていた漏水、影響域、三湖連絡等について、以下の諸点が明らかにされた。

1) 河口湖について

- ① 水収支から逆算した(湖面積に対する)流入高は、少雨時の1987年には年-600mm程度まで負になることがある。漏水は明らかである。負となる逆算流入高は-3mm/dをピークとし、-20mm/d前後までは頻繁に生じる。
- ② 降雨日に水位低下があり翌日にも水位上昇がない、あるいは翌日に上昇がある場合などの現象が生じる。これは湖から周辺地下水帯への水の流れが生じることを示している。
- ③ 大增水時には、水位上昇のピークの遅れは、降雨ピーク後1週間程になる。

2) 精進湖・西湖・本栖湖について

- ① 西湖と本栖湖の水位差は、低水時にも通常1m弱程度を保つが、精進湖と本栖湖の水位は、低水時にはほぼ水平にまで接近する。
- ② 河口湖、西湖、本栖湖の放流に伴い、周辺地下水が湖に戻る戻り率は、水位でみると0.5~0.8である。本栖湖はより多く難透水性の御坂統により囲まれているため、西湖の0.79に比べかなり小さい0.55を示す。
- ③ 西湖、本栖湖からの放流により、精進湖にはそれぞれ15%、34%の水位低下が連動する。ただし精進湖との水位差はそれぞれ5%、10%程度しか変化しない。
- ④ 三湖は地下の溶岩層を通じて連絡しており、上流から西湖・精進湖・本栖湖の順に並んでいる。精進湖・本栖湖の連絡は、西湖・精進湖に比べより密である。

謝辞 本研究にあたり、富士五湖水位流出量旬報を山梨県土木部河川課および都留土木事務所河川砂防課に、西湖の気象月報を山梨県商工労働観光部観光課および東京電力山梨支店・大月支店に提供頂いた。記して深甚なる謝意を表します。

< 参考文献 >

- 1) 石原初太郎(1973)：富士の地理と地質(富士の研究V)、浅間神社社務所、pp. 87-118, pp. 134-150
- 2) 濱野一彦(1985)：富士山—地質と変貌—、鹿島出版会、pp. 42-51, pp. 151-170
- 3) 山本荘毅(1971)：富士山とその周辺の陸水(富士山 富士山総合学術調査報告書)、富士急行株式会社・財団法人堀内光庵会、pp. 185-186
- 4) 箭内寛治(1953)：富士五湖の資料整理、山梨大学工学部研究報告第4号、pp. 33-38
- 5) 高須研一・竹内邦良(1990)：河口湖の水位変動に関する研究、第45回年講概要集、pp. 110-111
- 6) 山本晃司(1991)：河口湖の水位変動予測、山梨大学工学部環境整備工学科卒業論文
- 5) 今村英之・稲葉光泰・竹内邦良(1992)：西湖の水収支と水位変動機構、第47回年講概要集、pp. 498-499
- 6) 切石史子・竹内邦良(1994)：河口湖への流入量のフェジィ推定、水文・水資源学会1994年研究発表会要旨集、pp. 8-9
- 7) 西宮克彦・木下新一(編)(1991)：山梨県防災地質図(1/200,000)

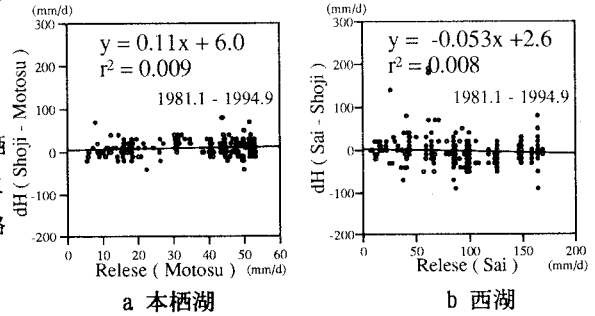


図-10 放流高と精進湖との水位差の関係