

琵琶湖湖面蒸発量の観測・評価システムとそのシミュレーションモデルへの活用
Observation and Estimation on Evaporation from Lake Biwa and
its Utilization to Simulation Model

京都大学防災研究所 池淵周一 S. Ikebuchi
建設省河川局 陣内孝雄 T. Jinnouchi
建設省琵琶湖工事 岡久宏史 H. Okahisa
日本気象協会関西本部 大藤明克 A. Ohuto

1. はじめに

湖沼での水収支式 $P_w = (D_{w0} - D_{wi}) + E_w + \Delta B_w$ において湖面降水量 P_w , 流出量 D_{w0} , 貯留量変化 ΔB_w は直接観測データから得られる。いま、湖面蒸発量 E_w が観測あるいは評価・推定されれば、未知量 D_{wi} , いわゆる周辺集水域から湖沼への流入量が上式から算定される。この逆算流入量は周辺集水域からの表流水および地下水流入量の合計値に相当するので、流出モデルの構成がこの値を観測流出量とみなして展開できる。本研究はこうした立場から、琵琶湖流域において湖面蒸発量の長期間かつ面的な観測・評価システムの構成をはかるとともに、得られた結果をベースに一般気象要素から日単位スケールでの湖面蒸発量が推定できるモデルを提示する。成果は逆算流入量の算定はもとより、湖面蒸発量の時・空間分布特性の把握・予測に寄与することはいうまでもない。

2. 観測システムと評価システム

琵琶湖での湖面蒸発量の観測・評価システムについては、すでに前報¹⁾でも述べているように彦根沖1地点(湖東基地観測点)の通年観測・集中観測と短期間ごとの湖上移動観測を行い湖面蒸発量変化のためのデータ取得と、1地点の観測値から面的な蒸発量の評価法について検討している。その結果、1)観測・評価のシステム化にあってはバルク法が適当である、2)蒸発量は春季に少なく、秋季に多く、湖上の気層の安定度や風速との関係が強い、3)1地点の評価値を湖面からの量に変換するために風系別に風速比を用いた補正係数の導入、などの成果が得られた。その後、彦根沖の他に西岸に位置する真野沖にも通年観測基地を設け、バルク法による観測を継続している。バルク法による蒸発量の推定は次式による。

$$E_w = CB \cdot \rho \cdot (q_s - q_1) \cdot W_{s1} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 E_w :蒸発量, ρ :空気密度,
 q_s :湖面上での飽和比湿, q_1 :湖面上約6mの高さでの比湿, W_{s1} :湖面上約6mの高さでの風速, CB :バルク係数で、渦相關法による値との比較から同定され、大気の安定度別と風向別に範疇化し、風速の関数として与えた。

3. 湖面蒸発量の時系列変化

昭和60年1月から61年12月までの2年間、

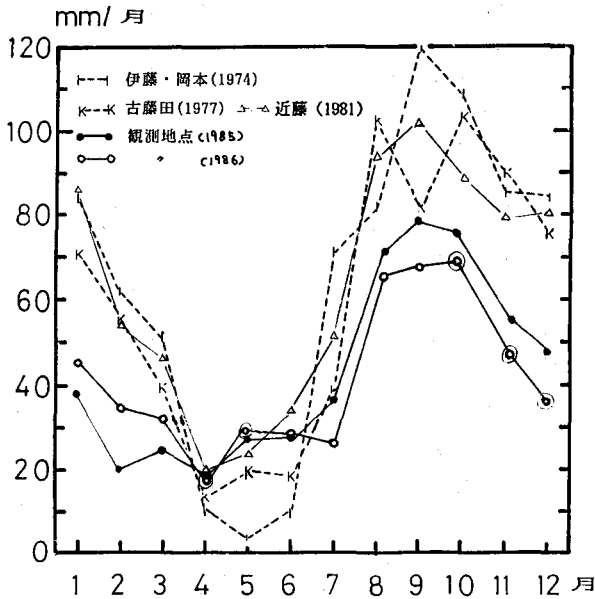


図-1 琵琶湖における蒸発量の年変化

バルク法により蒸発量の計算を行なった結果を月合計し、蒸発量の年変化の大まかな傾向をみたのが図-1である。月単位で蒸発量の変化を見た場合、61年は2月が約15mm、3月が約8mm程度蒸発量が60年より多いのに対し、7月が約10mm、8月が約7mm、9月が約12mm程度少なくなっている。この原因としては、蒸発量に影響を与える風速（風速が強いほど蒸発量が多い）、（表面水温）－（気温）（表面水温が気温より高いほど蒸発量が多い）と（水面直上の飽和水蒸気圧）－（水蒸気圧）（水面直上の飽和水蒸気圧が大気中の水蒸気圧より高いほど蒸発量が多い）にあるものと考えられる。

4. 蒸発量の局地性

つぎに、彦根沖と真野沖の蒸発量の散布図を時間、日、半月平均データでみた。結果の一例として半月平均データで見たものが図-2である。バラツキは時間平均データでは1mm/日程度、日平均データでは0.5mm/日程度となっている。また半月平均データでは0.3mm/日程度となっており、これらのことからタイムスケールを長くとることによって、北湖上では地点間の蒸発量の差が小さくなるのがわかる。このことは半月単位以上の時間スケールをとった場合は地点間の相連は比較的小さくなる傾向があり、湖上における代表性のある1地点の観測地で評価できる可能性がある。逆に半月単位以下の時間スケールでは、地点間の差がでてき、この場合は後述するように風速比を代表地点で評価した蒸発量に乘じて面的な評価値に直す必要があろう。

5. 蒸発量の面的評価の検討

移動観測によって得られた蒸発量の面的評価方法とは、彦根沖観測点で観測を行なった蒸発量に補正値を乗ずることによって湖面からの平均的な蒸発量を求めるという方法である。この補正値は湖の長軸を境にし、風向を北系と南系に分類し、図-3に示す7領域ごとに彦根沖観測点の風速に対する風速比を求めた後、各領域ごとの面積で重みづけを行ない求めた。そこで、まず彦根沖観測点に対する真野沖観測点の風速比を風系

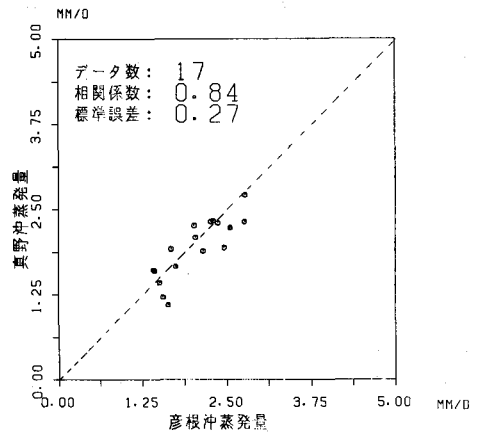


図-2 真野沖と彦根沖との湖面蒸発量の比較（半月平均値）

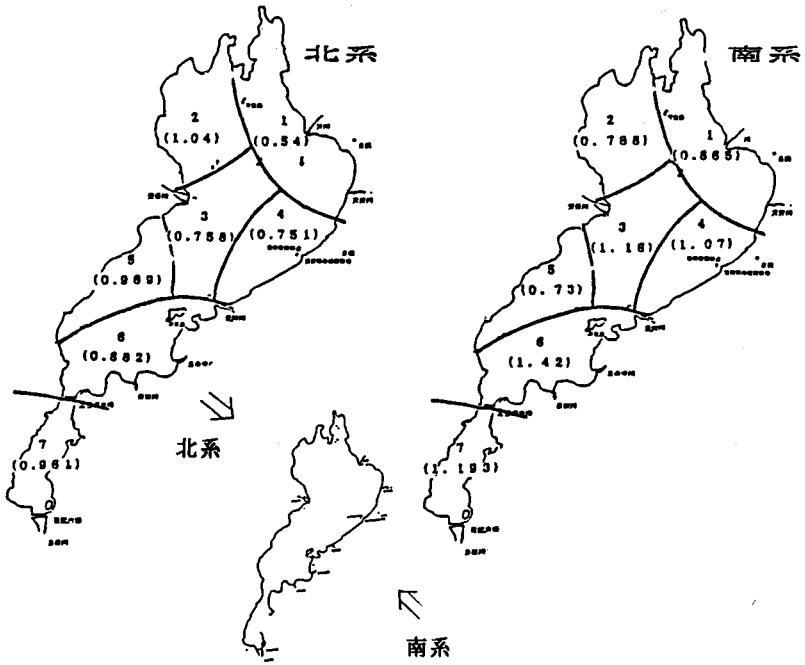


図-3 北系と南系の蒸発量補正係数

表-1 風系別、月別風速比（真野沖観測点／彦根沖観測点）

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
北系の風	0.99	0.71	0.62	0.57	0.57	0.51	0.64
南系の風	データなし	1.03	0.81	0.84	0.83	1.08	0.92

別、月別に求め、移動観測で求めた7領域ごとの風速比との比較を行なった。表-1に彦根沖観測点に対する真野沖観測点の風速比を風向別、月別に示した。ここで、真野沖観測点は7領域の中のNo.6に入り、移動観測でいうとNo.19とNo.20の中間に位置する。表-1と図-3から真野沖観測点での風速比は移動観測から求めたこの領域での風速比（No.6北系=0.882,南系=1.42）に比べ低い値（北系=0.64,南系=0.92）になっていることがわかる。これは真野沖観測点が湖西側の湖岸に近い位置にあり地形の影響を受けやすい位置にあることによるものと考えられる。しかし、移動観測から求めた風速比は、この領域での平均的な値であり、北系と南系の風速比の関係がほぼ同じであることから移動観測から求めたこの領域での風速比として妥当な値であるものと考えられる。

6. 陸上観測点からの湖上気象要素の推定

湖面蒸発量に影響を与える気象因子としては表-2に示す因子を挙げることができる。現在、彦根沖観測点ではこれらの因子のうち日射量以外全部のデータが得られる。しかし琵琶湖全体を考えた場合、彦根地方気象台での日射量、気温、水蒸気圧、風速の観測データが得られるものの琵琶湖周辺のアメダス観測地点では気温、風速の観測データしか得られない。したがって、ここでは上記の湖面蒸発量に大きく影響を与える因子で通年観測を行っていない日射量、放射収支量および表面水温の推定方法を検討した。なお、水蒸気圧は定量的な推定が困難であるため推定対象から外した。推定結果の一例を表-3に示す。

表-2 湖面蒸発量に影響を与える気象因子

	日射量 (放射収支量)	気温	水温	水蒸気圧	風速
①	○	○	○		
②			○	○	
③		○	○		○

ここで、①水の蒸発化を可能とするエネルギー、②水蒸気温度勾配の存在、

③水蒸気を運び去る風と空気、また、○は関係があることを示す。

7. 湖面蒸発量シミュレーションモデル

蒸発量のリアルタイムでの評価方法としては、バルク法が

表-3 気象要素の推定方法と推定結果

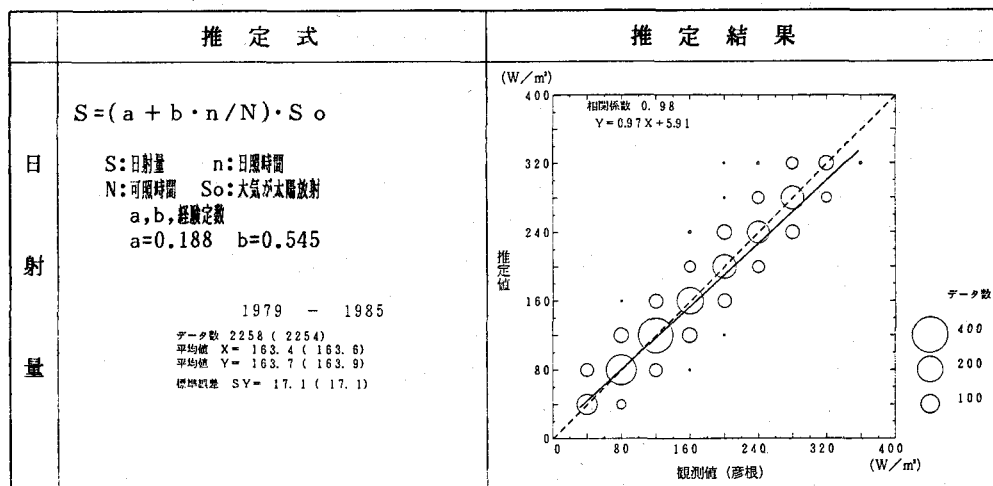
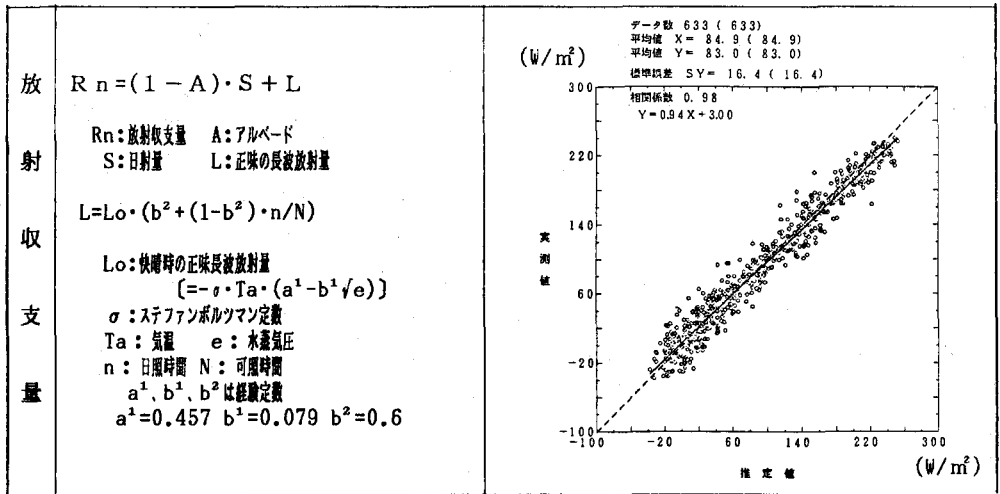


表-3 (続き)



最適である。しかし、実際に蒸発量の観測を行っていない地点や期間において蒸発量の推定を行なう場合バルク法では計算に必要な気象要素（風速，水蒸気圧）の推定が困難である。そこで、推定可能な気象要素から構成し得る熱収支法を考える。「熱収支法」は次式で評価するものであり、10分とか1時間とかいう短いタイムスケールで評価した場合、精度的にはバルク法より低いが、1日以上タイムスケールで評価した場合比較的よい精度で評価が可能である。湖面蒸発量シミュレーションおよび予測モデルのタイムスケールとしては気象要素の推定精度上日単位以上が妥当と考えられる。

$$LE = (R_n - G) / (1 + B) \quad \dots\dots\dots(2)$$

LE : 蒸発量 R_n : 放射収支量 G : 貯熱量 B : ボーエン比

ここでは、まず(2)式を用いて現況再現モデルを作成し、バルク法により求めた蒸発量と比較することによってモデルの検討を行なった。また、モデルの作成検討対象地点は、現在蒸発量の観測を行なっている彦根沖観測点とする。そして、モデルの作成は彦根沖観測点と彦根地方気象台のデータを用いて行なった。ただし、貯熱量の推定に必要な表面水温データは、彦根沖観測点のデータだけでは不十分なため彦根沖観測点に最も近い安曇川沖中央（琵琶湖定期水質調査地点）のデータを用いた。(2)式から蒸発量の推定を行なう場合、放射収支量 (R_n)，貯熱量 (G) とボーエン比 (B) の推定が必要である。放射収支量 (R_n) は、表-3で推定可能である。

そこで、貯熱量とボーエン比の推定方法の検討を行ない、以下に示す重回帰式を得た。

$$G = HU \times 1.83159 - TSA \times 21.14221 + SA \times 0.63654 - WS \times 2.31233 - 100.18135 \quad \dots\dots\dots(3)$$

G : 貯熱量 (W/m^2) HU : 湿度 (%) TSA : 気温水温差 ($^{\circ}C$)

SA : 日射量 (W/m^2) WS : 風速 (m/s)

データ数 34 重相関係数 0.99 標準誤差 15.2 (W/m^2)

$$B = -TA \times 0.01672 + AN \times 0.06124 + 0.62019 \quad \dots\dots\dots(4)$$

B : ボーエン比 TA : 気温 ($^{\circ}C$) AN : 安定比

データ数 34 重相関係数 0.92 標準誤差 0.08

式中の使用データは彦根地方気象台の日データであり、データ数 34 は集中観測を実施した日の数である。

図-4にモデルで求めた蒸発量とバルク法で求めた蒸発量の関係を示した。また、図-5に両者の比較を月合計値で示した。これらの一致性をふまえ、最後に図-6に湖面蒸発量シミュレーションモデル(2),(3),(4)式で求めた過去20年間の蒸発量を示した。推定対象地点は湖東基地観測点(彦根)であり、使用したデータは彦根地方気象台のデータである。近藤は、湖面からの年蒸発量の特性として①人力放射(放射収支量)が多いと蒸発量は多い、②風が強いと蒸発量は多いことを示している。²⁾

そこで、表-4に年蒸発量と日射量、風速との関係を示し検討を行なった。また、表-4に年蒸発量の降水量に占める割合を示した。

表にみるように、日射量と風速が年蒸発量に影響しているものと考えられる。また、表から渇水の年は、年蒸発量の降水量に占める割合が他の年に比べて比較的高く(1977年以外は40%以上)なっていることがわかる。

8. おわりに

以上、琵琶湖湖面蒸発量の観測・評価をバルク法で実施するとともに、熱収支法に依拠する実用的なシミュレーションモデルを提示した。さらに、このモデルを予測が可能な気象要素のみで表現していくことによって蒸発量短期予測モデルが、また気象要素の長期予測精度が十分でない現時点では、本シミュレーションモデルで求めた過去20年間の蒸発量の半月平均値、最大値、最小値が長期予測モデルの目安値となっていこう。

参考文献

- 1) 池淵周一・竹林征三・大藤明克：
琵琶湖湖面蒸発量の観測と評価，第30回水理講演会論文集，昭和61年
- 2) 近藤純正：数値シミュレーションによる水温・蒸発・蒸散量の推定，水温の研究，25巻2号，昭和56年

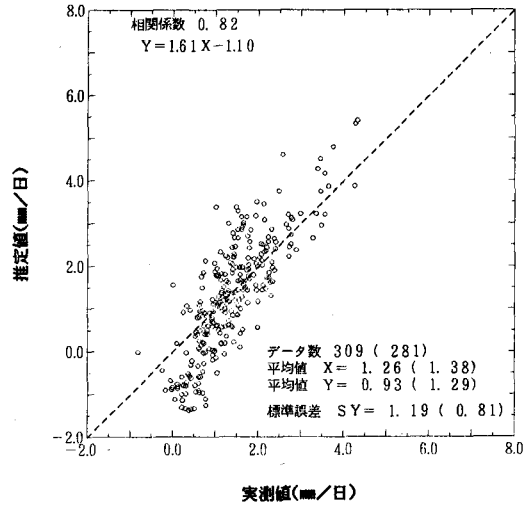


図-4 シミュレーションモデルで求めた蒸発量とバルク法で求めた蒸発量の比較

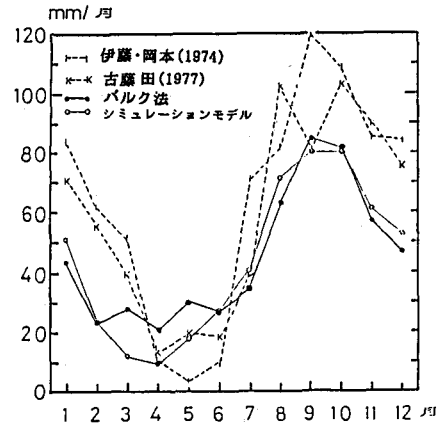


図-5 シミュレーションモデルで求めた蒸発量とバルク法で求めた蒸発量の比較(月合計値)

表-4 年蒸発量と日射量、風速との関係

年	年蒸発量	日射量	風速	年蒸発量/降水量(%)	年	年蒸発量	日射量	風速	年蒸発量/降水量(%)
1966	○	○	○	44	1976				24
1967	○	○	○	47	1977				36
1968	○	○	○	49	1978				43
1969	○	○	○	51	1979				35
1970	○		○	34	1980				26
1971	○		○	34	1981				30
1972	○	○	○	37	1982		○		39
1973			○	41	1983	○	○	○	36
1974			○	30	1984	○	○	○	49
1975				32	1985				31

(注) ○は20年平均値より大きいことを示す。
網みかけ(表中 〇の部分)は渇水の年

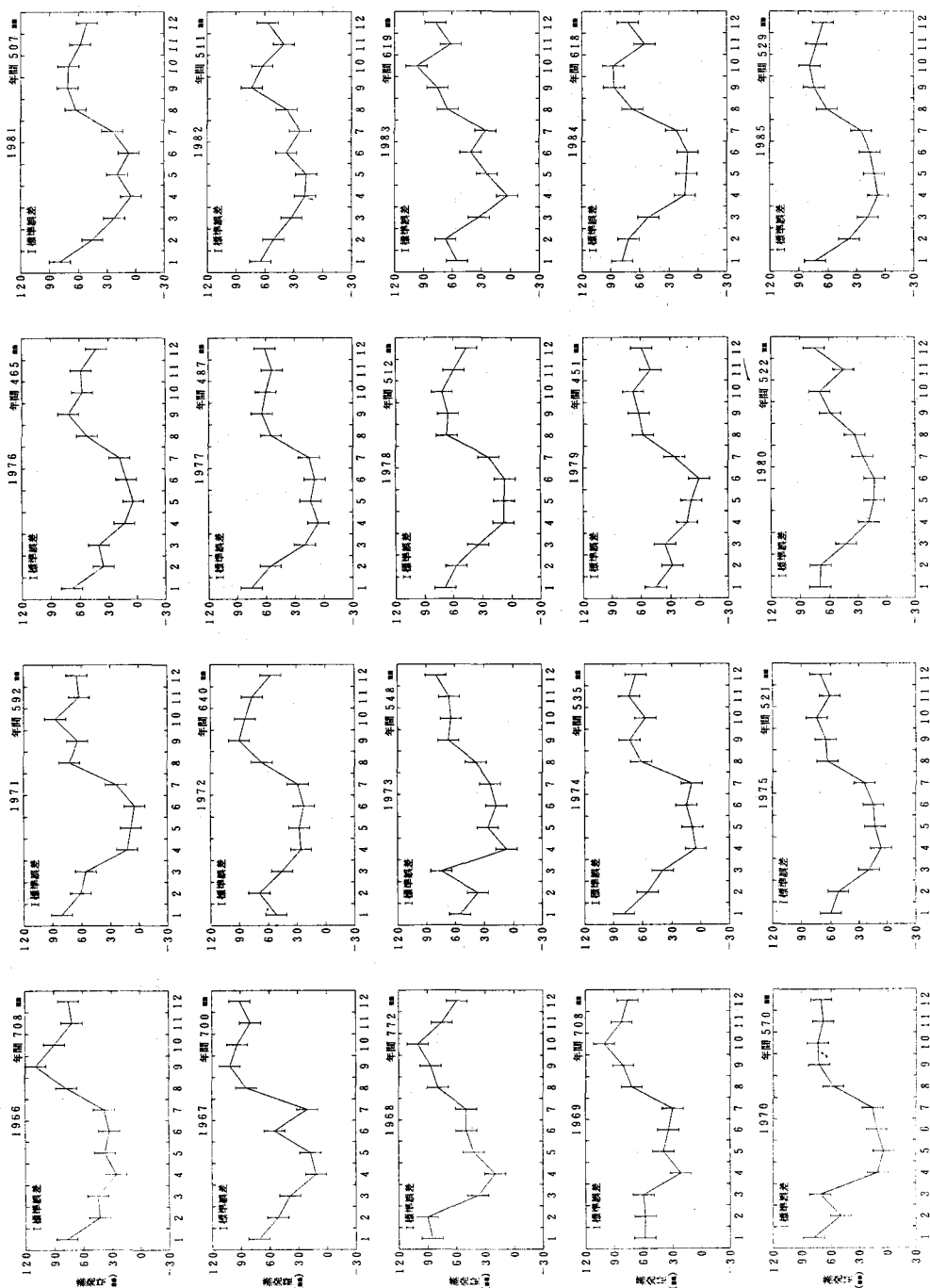


図-6 過去20年間の推定湖面蒸発量の年変化図