

新庄盆地の気候学的水収支

東浦将夫

国立防災科学技術センター新庄支所

Climatological Water Balance in the Shinjo Basin

By

Masao Higashiura

*Shinjo Branch, National Research Center for Disaster Prevention
No. 1400, Takadan, Toka-machi, Shinjo, Yamagata-ken 996*

Abstract

The annual water balance in the Shinjo Basin was calculated by the climatological method. The Shinjo Basin, 205 km² in area, is situated in the northern part of Yamagata Prefecture and is visited by heavy snowfalls in winter. The drainage from this basin flows into the Sake River which is a tributary of the Mogami River.

It is said that the data of water balance components (precipitation, runoff, evaporation) of a drainage basin may contain considerable errors and that the accuracy will get worse in the order of precipitation, evaporation and runoff. So the author tried to estimate the runoff from precipitation and evaporation. It is empirically regarded as 60-70% of the value of evaporation from a small pan to be the actual evapotranspiration of an area. Therefore, the author considered 65% of this value as actual evapotranspiration of the area in this calculation.

On the other hand, the author calculated evapotranspiration from the drainage basin by using Penman's method for potential evaporation. In the case of Shinjo Basin, the actual evapotranspiration was obtained by multiplying Penman's value by 0.80. The result of water balance obtained from the mean value for nine years are as follows: precipitation of 2,220 mm/year, evapotranspiration of 568 mm/year, runoff of 1,652 mm/year, and runoff ratio of 0.74.

Compared with the observed values in Kamabuchi Experimental Watershed which lies about 15 km north of the said basin, the calculated values for the Shinjo Basin show a close agreement. Consequently, the calculated runoff on the basis of precipitation and evaporation is considered to be an appropriate value for the Shinjo Basin.

1. はじめに

山地・丘陵に囲まれ、閉じられた盆地内において、一年間にどれだけの水が循環している

のか、その水量を算定しておくことは、水収支の基礎的な問題である。また、社会生活の著しい向上および経済活動の活発化に伴い、水は水質汚染・地盤沈下などにおいて主役を果たしている。したがって、自然界における水循環や水収支など、水の実態を明らかにすることは必要である。

流域の水収支に関係する要素は、降水量、蒸発散量、地表流出量、地下流出量、貯留量である。しかし、地下水が他の流域へ流出しないような地形・地質の流域の場合には、地下流出量は無視できる。一方、一年以上の水文期間の水収支を考える場合には、貯留量については、降水量や流出量に比べ無視できよう。筆者は新庄盆地からの流出量を流域外の2観測地点間の流量の差から算定した。しかし、妥当な値は得られなかった。これまでに種々の調査研究はあるが、どの方法によって算定したものが最も妥当性があるのか、現在のところ明らかでない。本稿では、多雪地新庄を例として、気候学的方法によって蒸発散量を吟味し、流出量を推定してみた。

2. 新庄盆地について

新庄盆地は、置賜盆地・村山盆地と南から北へつづく山形県の北部に存在する小盆地である。その流域面積は、205 km² の広さであり、この流域内の水は、最上川の支流である鮭川に流入し、その位置は Fig. 1 に示してある。流域の地形は新庄の市街地を扇端とする扇状地である。その北東部には、1,000 m を越える山地があり、最高地点は神室山で、標高 1,365

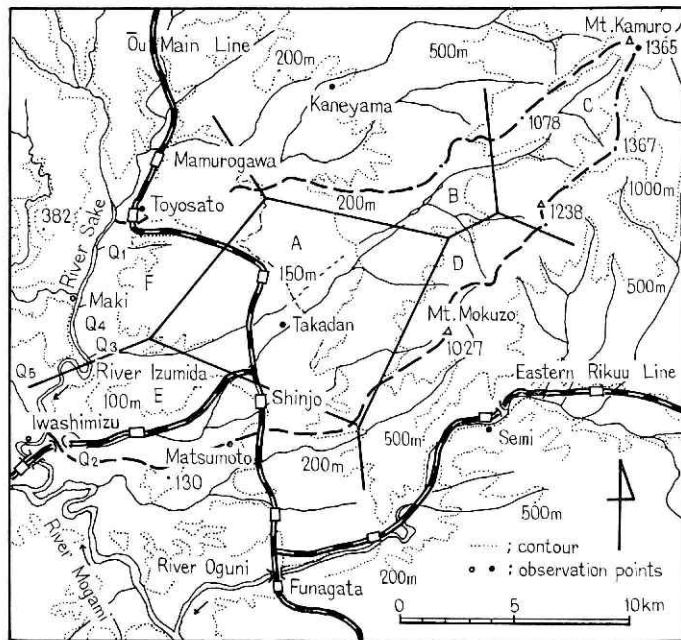


Fig. 1. Watershed of the Shinjo Basin (encircled with a dotted line).

m である。西部は、第三紀の丘陵よりなっていて、泉田川・指首野川などの河川は西流して、その丘陵を分岐して鮭川へ流れ込んでいる。土地利用状況を調べてみると、扇状地の大部分は耕地で、その面積は流域の 21% を占めている。耕地面積のうち水田が 88%、畑が 12% である。周囲の山地・丘陵のほとんどは森林で、その面積は流域の 79% である。流域内には灌漑用の有効貯水量 680 万トンの樹沢ダムがある。灌漑用の溜池は、5,000 トン以上貯水できるものが約 30 あり、総貯水量は 200 万トンである。

3. 水収支項目について

この地域は多雪地で、山地には 10 月下旬頃より雪が降りだし、平地でも最深積雪深は平均 1.5 m ぐらいになる(東浦, 1975)。その年に積った雪が融雪として流出するのが翌年となる水文特徴があるので、本稿では水文年を 10 月 1 日から翌年 9 月 30 日までとして取り扱った。使用した資料の期間は、1962 年 10 月から 1971 年 9 月までである。

水収支の項目について、各々の算定方法について述べる。

(1) 降水量 (P)

利用した資料は、新庄測候所と国立防災科学技術センター新庄支所で観測されたものと他 4 点であり、観測点の位置(流域内 3 点・流域外 3 点)は、Fig. 1 に示した。面積降水量は、観測点の数などから等値線法で求めることがむずかしいので、Thiessen 法により求めた(Table 1)。流域の分割は、A・B・C・D・E・F の地区 6 であり、計算より求めた流域の面積降水量は Table 2 に示した。なお、神室山の降水量観測値は、ロボット雨量計によるものであり、5 月～10 月の夏半年の観測値しか得られない。11 月以降はロボット雨量計を撤収してしまうからである。そこで 11 月から翌年 4 月までの降雪期の値を推定するために、流域付近で、標高と降水量の関係を調べてみた。しかし、流域付近の観測値では良い結果が得られなかった。そこで、1961 年～1970 年の新庄測候所の観測値と神室山の夏半年の観測

Table 1. Observation points and the areas of Thiessen polygons in the Shinjo Basin.

Area	Observation point	Area (km ²)	Note
A	Takadan	70.54	National Research Center for Disaster Prevention
B	Kaneyama	21.10	Agricultural Meteorological Station
C	Mt. Kamuro	23.52	Robot Raingauge Station
D	Semi	19.22	Agricultural Meteorological Station
E	Matsumoto	39.01	Shinjo Weather Station
F	Toyosato	31.55	Agricultural Meteorological Station
Total		204.94	Watershed

Table 2. Monthly mean precipitation in summer season (1961-1970) at Shinjo Weather Station and Mt. Kamuro.

Observation point	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.
Shinjo Weather Station	88.0	123.8	214.8	174.7	164.8	138.8
Mt. Kamuro	142.0	194.0	451.0	233.0	272.0	250.0

Table 3. Precipitations of Thiessen polygons and areal precipitation in the Shinjo Basin.
unit: mm

Area	1962-1963	1962-1964	1964-1965	1965-1966	1966-1967	1967-1968	1968-1969	1969-1970	1970-1971
A	2123	1914	2024	2088	1732	1665	1847	1473	1832
B	2442	2148	2449	2129	1991	2295	2633	1718	2121
C	4204	3774	3989	4115	3414	3282	3640	2903	3610
D	2421	2413	2477	2449	2204	1793	2286	1452	1707
E	2362	2120	2241	2312	1918	1844	2045	1631	2028
F	2621	2288	2619	2442	2227	2169	2633	1789	2216
Areal precipitation	2536	2283	2457	2413	2097	2031	2323	1688	2142

“1962-1963” means from Oct. of 1962 to Sept. of 1963.

値 (Table 2) の相関関係 (Fig. 2) より, 冬半年の神室山の降水量を推定した. 1962年10月~1971年9月の降水量と面積降水量の値を Table 3 に示した.

(2) 流出量 (R)

流出量は建設省東北地方建設局新庄工事事務所の資料を使用し, 新庄盆地からの流出量は鮭川の岩清水と真木の観測値の差から求めた. 上流地点の流量は少なく, 下流地点のそれは多いと考えられる. これら観測値の相関を確認するため, 下流の岩清水と上流の真木の 1963年から 1969年までの半月流量の相関関係を求めた. 回帰直線式は $y=1.43x-4.50$, y : 岩清水流量, x : 真木流量, 相関係数: 0.98, となった (Fig. 3). 両観測値の相関が非常に良いので, 真木と岩清水の流量の差を新庄盆地の流出量と見なした. その根拠は次のようである. すなわち真木より上流で新庄盆地内の内川 (Q_1) が鮭川に合流し, また, 岩清水の上流側で他流域から田沢川 (Q_3) が流入している. これらの2河川は流域面積も地形条件も非常に類似している. そこで, 支流河川の流量にどの程度の差異があるのか調べてみた. 流量測定は, 盆地からの流出が平水流量と思われる 1972年9月21日に行った. 測器はプライス微流速計を使用した. 結果より, 升形川 (Q_2): $2.602 \text{ m}^3/\text{s}$, 泉田川 (Q_3): $2.093 \text{ m}^3/\text{s}$, 荒沢川 (Q_4): $0.048 \text{ m}^3/\text{s}$, 内川 (Q_1): $1.242 \text{ m}^3/\text{s}$, となり, 盆地流出量は $5.985 \text{ m}^3/\text{s}$ となった.

新庄盆地の気候学的水収支—東浦

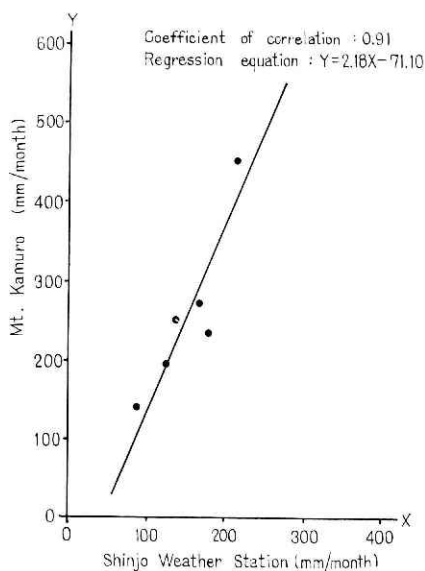


Fig. 2. Relation of monthly mean precipitation between Mt. Kamuro and Shinjo Weather Station.

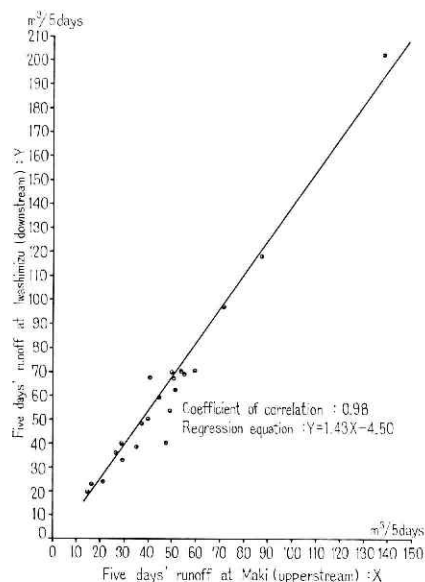


Fig. 3. Relation of five days' runoff between Maki (upperstream) and Iwashimizu (downstream) (1963-1969).

そして、内川 (Q_1 : $1.242 \text{ m}^3/\text{s}$) と田沢川 (Q_3 : $1.015 \text{ m}^3/\text{s}$) の流量はそれほど大きな違いがなかった。そこで、岩清水と真木の差の流量を盆地からの流出量とした。一般に、河川の流量の資料は、水位—流量曲線により求めるため、流量にかなりの誤差がみこまれているので、内川 (Q_1)・田沢川 (Q_3) の流量を同じであると見なしても妥当であると考えた。1962 年 10 月～1971 年 9 月の盆地からの流出量の値を Table 4 に示した。

Table 4. Runoff from the Shinjo Baisn.

unit: $\times 10^7 \text{ m}^3$

Year	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Total
1962-1963	3.556	4.432	5.641	1.369	0.838	3.594	7.640	2.030	2.964	4.165	3.214	2.284	41.724
1963-1964	2.419	5.151	5.953	3.314	1.813	3.580	3.073	1.010	1.175	3.038	1.002	1.228	32.126
1964-1965	3.212	2.856	3.230	4.565	2.463	2.598	4.056	1.157	4.052	13.837	2.759	2.610	47.395
1965-1966	1.974	2.579	2.917	4.416	2.353	11.679	13.838	2.824	4.897	15.169	1.837	0.444	64.927
1966-1967	3.555	4.092	3.926	4.290	2.257	5.488	7.134	1.306	1.077	2.240	5.321	4.126	44.812
1967-1968	2.484	3.277	5.059	5.663	0.462	1.656	9.026	1.549	1.441	1.941	5.258	1.747	39.563
1968-1969	0.430	2.351	5.056	3.852	4.329	4.437	7.466	2.954	3.374	3.491	6.134	3.059	46.906
1969-1970	2.186	0.902	1.884	2.043	4.097	2.464	12.831	4.055	1.095	1.593	1.995	1.213	36.358
1970-1971	2.370	3.910	3.398	1.710	0.712	7.822	3.749	2.179	2.183	20.103	2.074	2.096	52.306

“1962-1963” means from Oct. of 1962 to Sep. of 1963.

(3) 蒸発量 (E)

蒸発量は新庄測候所の気象観測値を用いて、Penmanの方法(自由水面)で計算した。また、小型蒸発計(直径20cm)の観測値(1960年~1965年)を参考にし、Penman法で求めた値と比較検討した。Penman法では問題にする地域の水蒸気圧や風速などの気象資料があると、その地域の蒸発量を比較的容易に推定できる。計算は次のようである(Wilson, 1969)。

$$E_0 = \frac{\Delta \cdot H + \gamma \cdot E_a}{\Delta + \gamma}$$

$$H = R_A(0.18 + 0.55n/D)(1 - \gamma) - \sigma T_a^4(0.56 - 0.09\sqrt{e_a})(0.01 + 0.90n/D)$$

$$E_a = 0.35(e_s - e_a)(0.5 + 0.54 \cdot u_2)$$

ここで

- E_0 : 自由水面からの蒸発量 (mm/day)
- Δ : 飽和水蒸気圧曲線の勾配
- γ : psychrometer constant (0.49 mmHg/°C \doteq 0.66 mb/°C)
- R_A : 大気外の可能最大日射量 (cal·cm⁻²·day⁻¹)
- D : 日照時間 (hr)
- n : 日照時間 (hr)
- T_a : 平均気温 (°K)
- σ : Stefan の定数 (117.65 × 10⁻³ cal·cm⁻²·K⁻⁴·day⁻¹)
- e_a : 大気中の水蒸気圧 (mmHg)

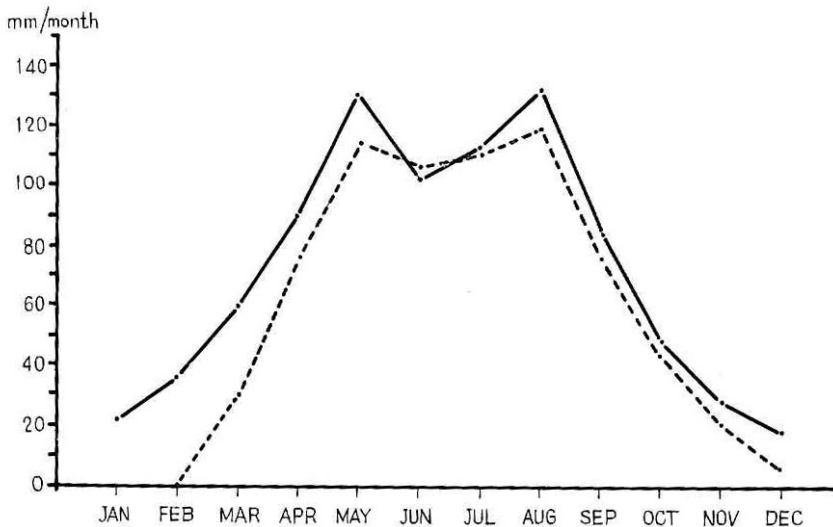


Fig. 4. Monthly mean evaporation in Shinjo.

Solid line: Monthly mean pan evaporation (20 cm) (1960-1965).

Dotted line: Monthly mean evaporation calculated by Penman's method (1962-1971).

e_a : 温度 T_a のときの飽和水蒸気圧 (mmHg)

u_2 : 地上 2 m での平均風速 (m/s)

r : albedo. (0.05)

Penman 法により算定した蒸発量と小型蒸発計で観測した値との比較を Fig. 4 に示す。各々の年変化の傾向は、5月と8月にピークが認められ、相関は良好である。しかし、小型蒸発計の値の方が Penman 法の値よりも全体に少し多めになっている。1962年10月から1971年9月までの期間の Penman 法によって求めた蒸発量の値を Table 5 に示した。なお、Thorntwaite 法による10年間平均蒸発量(1961~1970年)の値を同図に示した。

Table 5. Evaporation from the Shinjo Basin calculated by Penman's method.

unit: mm

Year	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Total
1962-1963	40.6	21.6	17.1	0	0	42.8	76.2	107.9	93.6	106.3	121.2	72.6	669.9
1963-1964	46.2	24.5	18.3	0	0	45.9	74.4	128.8	102.9	111.9	120.3	67.5	740.6
1964-1965	43.1	24.9	14.9	0	0	0	68.7	105.4	114.6	93.0	135.0	76.2	675.8
1965-1966	43.7	25.2	14.9	0	0	45.6	83.1	108.2	102.9	87.4	121.2	69.6	701.8
1966-1967	64.5	21.9	0	0	0	42.8	82.5	112.8	107.7	116.3	113.2	66.6	728.3
1967-1968	47.4	24.6	0	0	0	43.4	69.6	102.0	121.8	128.7	102.9	84.3	724.7
1968-1969	43.4	22.8	14.9	0	0	0	73.8	122.5	106.2	106.6	107.0	69.3	666.5
1969-1970	47.7	21.0	0	0	0	0	73.8	139.8	109.5	122.8	132.7	90.9	738.2
1970-1971	44.0	21.3	0	0	0	45.9	83.4	113.1	106.2	115.0	117.2	68.4	714.5

"1962-1963" means from Oct. of 1962 to Sep. of 1963.

4. 考 察

流域水収支計算の結果を Table 6 に示した。降水量 (P) と流出量 (R) の差から求めた消失量 ($P-R$) をみると、1962~'63・1963~'64 の値はわが国の実蒸発量分布図(樫根, 1971)に近似した値となっているが、それ以外の年は消失量の値が小さい。そして、変動も著しく、かつ負の値になっている。一般に、流域水収支の観測値(降水量・流出量・蒸発量)にはかなりの誤差が含まれていて、その観測値(推定値)の精度は、降水量・蒸発量・流出量の順に悪くなると考えられている。また、一般の河川の年流出率は降水量との比としてよりも、降水量と蒸発散量の差から算出した値のほうが信頼が高いであろうという結論が与えられている(樫根, 1969・1971)。

したがって、消失量の変動の原因としては、明らかに流出量、または降水量の測定精度に問題があるものと考えられる。特に、洪水時の流出量測定には困難を伴うので大きい誤差が

入るであろう。そこで、盆地からの流出量が、 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の出現日数を調べてみた。これを Table 7 に示した。消失量 (Table 6) と流出量出現回数との関係をみると、特に、 $150 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の流出量出現回数の多い年の消失量の値が小さく求められている。また、降水量の少ない年 (1969~1970) も、消失量の値が小さくなっている。これは、洪水のとき、降水の少ない

Table 6. Water balance in the Shinjo Basin.

Year	Precipitation (P)	Runoff (R)	Loss (P-R)	Evaporation by Penman's method (E_P)	Estimated evapotranspiration ($E_P \times 0.80$)	Calculated runoff ($P - E_P \times 0.08$)	Runoff ratio
1962-1963	2536	2036	500	700	560	1976	0.78
1963-1964	2283	1568	715	741	593	1690	0.74
1964-1965	2457	2313	144	676	541	1916	0.78
1965-1966	2413	3168	-755	702	562	1851	0.77
1966-1967	2097	2187	-90	728	582	1515	0.72
1967-1968	2031	1931	100	725	580	1451	0.71
1968-1969	2323	2289	34	667	534	1789	0.77
1969-1970	1688	1774	-86	738	590	1098	0.65
1970-1971	2142	2552	-410	715	572	1570	0.73
Average	2220				568	1652	0.74

"1962-1963" means from Oct. of 1962 to Sep. of 1963.

Table 7. Numbers of day over $50 \text{ m}^3/\text{s}$ in river runoff from the Shinjo Basin.

Year	Numbers of day over $50 \text{ m}^3/\text{s}$ in river runoff												50-100	100-150	150-200	200-250	250<	
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.						Total
1962-1963						2	11	1		3	1	1	19	17	2			
1963-1964	2			2			11			5		1	21	17	4			
1964-1965	1						11	3		7	1		23	20	2	1		
1965-1966					1	5	3			5*			14	10		1	2	1
1966-1967	3					3	7				2		15	11	4			
1967-1968						1	14			1	4		20	17	3			
1968-1969							6			4*	5*		15	9	2	1	1	2
1969-1970							7						7	7				
1970-1971						4	4	1		7*			16	11	3		1	1
Total	3	3		2	1	15	74	5		32	13	2	150	119	20	3	4	4

* means the month over $250 \text{ m}^3/\text{s}$ in runoff.

いとき流量の誤差が大きくなるのが原因であると考えられる。それゆえ、この流域では降水量と流出量の差より蒸発散量を算定することは妥当でないと判断される。

そこで、降水量の値が、最も信頼できるものと見なして考察することにする。降水量について、1962年10月～1971年9月の9年間の面積降水量をみると、1969～'70の値の1688 mm/年という著しく小さい値以外は、およそ、2,000～2,500 mm/年である。一方、蒸発量の場合、湿潤地域にある我国では、その年による変動量は少ないものと考えられているが、当流域についても調べてみた。小型蒸発量の資料は、6年間（1960～1965年）分しか得られなかったが、降水量と小型蒸発計による蒸発量（ E_{20} 、新庄測候所の測定値）との相関を Fig. 5 に示した。同様に、この流域での面積雨量と Penman 法で求めた蒸発量（ E_p ）とのそれを Fig. 5 に示した。Fig. 5 に図示されるような、ほぼ平行関係にある2群（A、B）に分かれた。それぞれの回帰方程式は同図中に示してある。この2群に分かれた理由は以下のようなのである。小型蒸発計の値は新庄測候所の降水量との相関を、Penman 法の値は面積雨量との相関を示しているからである。

ところで、これまで経験的に蒸発計蒸発量の60～70%の値をもって実際の蒸発散量と見なすことが多いので、その65%の値をこの地域の蒸発散量と考えた（金子良、1957）。一方、Penman 法で求めた蒸発量の何%が実際の蒸発散量に当たるかを知る必要がある。この地域の蒸発散量は上のどちらの方法で求めても同じはずだから、次式が成立するであろう。

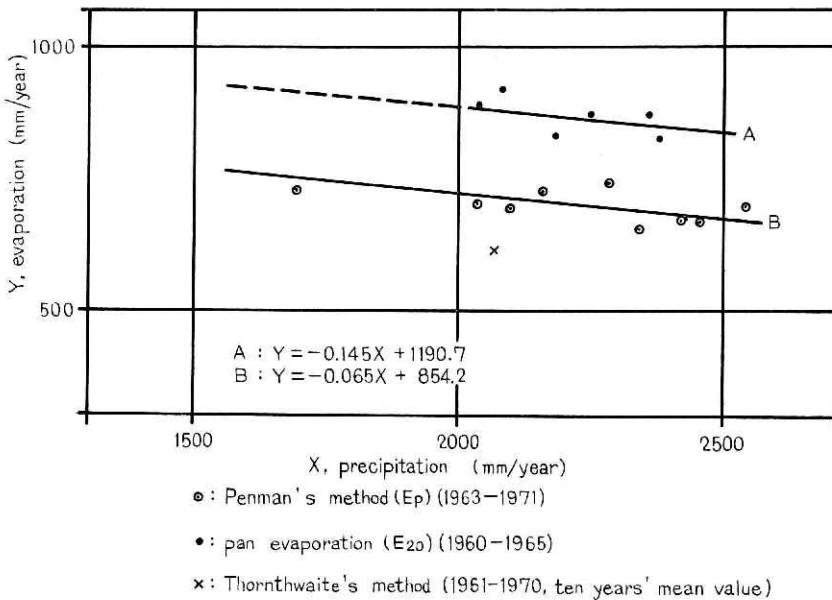


Fig. 5. Parallel relation between A and B.
 A : Relation between annual pan evaporation (20 cm) and annual precipitation, and
 B : Relation between annual evaporation calculated by Penman's method and annual areal precipitation.

$\alpha \cdot E_p = 0.65 \cdot E_{20}$. Fig. 5 中の A, B 群それぞれが、完全な平行関係にあれば、任意の降水量について計算するだけで一定値の α が求まる。しかし、完全には平行でないので降水量 2,000 mm と 2,500 mm との 2 点について上式から α を求めると、それぞれ 0.81 と 0.78 となった。A, B それぞれのグループのサンプル数の相異等を考慮すると、 α としては両者の平均値 0.80 を取るのが妥当であると判断した。そこで、比較的精度の高いと思われる琵琶湖の水収支 (古藤田, 1974) についての値を求めると 0.73 となった (注参照)。

この流域の 9 年間の水収支の平均値を求めると、降水量 (P): 2,220 mm, 蒸発散量 ($0.80E_p$): 568 mm, 流出量 ($P - 0.80E_p$): 1,652 mm, となり、流出率 0.74 と算定された。ここで、都合のいいことには、この流域より北方 15 km にある釜淵の林業試験場の実験流域の資料があり、流域面積 0.03 km², 8 年間平均の降水量: 2,616 mm, 流出量: 2,046 mm, 消失量: 570 mm, 流出率: 0.78, となり、流出率が新庄盆地のものと非常に近似した値となっている (榎根, 1971)。現在のところ、実験流域における水収支の値が最も信頼がおけるものと思われる。それゆえ、新庄盆地の水収支において、降水量と蒸発散量より算定した流出量が、ほぼ妥当な値であると考えられる。ここで算定された流出量を盆地から流れたす水量になおしてみると 33.969×10^7 t/年 となる。

5. ま と め

多雪地である新庄盆地の水収支を気候学的な手法によって算定してみた。流域の水収支の観測値 (降水量・流出量・蒸発量) にはかなりの誤差が含まれ、その精度は降水量・蒸発量・流出量の順に悪くなると考えられている。そこで、Penman 法による自由水面からの蒸発量より新庄盆地からの蒸発散量を推定した。新庄盆地において、実際の蒸発散量は、Penman 法 (自由水面) で求めた蒸発量の 0.80 倍であることがわかった。小型蒸発計の使用されていない現在、Penman 法より算定するのは、有効な方法であろう。その結果、流域の 9 年間の水収支の平均値を求めると、降水量; 2,220 mm, 蒸発量; 568 mm, 流出量; 1,652 mm, となり、流出率 0.74 と算定された。この流域の近くにある実験流域の観測値と比較してみると非常に近い値であった。したがって、新庄盆地の水収支においては、降水量と蒸発散量より算定した流出量が、妥当な値であると考えられる。

謝 辞

本稿の作成にあたり、貴重なご助言・ご批判をいただいた京都教育大学の古藤田一雄先生に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 金子 良 (1959): 農業水文学, 253, 土木雑誌社.
- 2) 榎根 勇 (1969): 水収支観測値の精度について. 東京教育大学地理学研究報告, XIII, 129~137.

- 3) E. M. Wilson (1969): Engineering Hydrology, 21~38, *Macmillan*.
- 4) 樋根 勇・竹内 皓 (1971): 本邦における河川の年流出率について, 地理学評論, 44 (5), 347~355.
- 5) 東浦将夫 (1973): 新庄盆地の水収支. 地理学会講演予稿集, 4, 98~99.
- 6) 古藤田一雄 (1974): 琵琶湖の水収支とその集水域の水文特性. 地理学会講演予稿集, 7, 85~86.
- 7) 東浦将夫・阿部 修 (1975): 新庄の平地積雪断面観測 (昭和48~49年冬期), 国立防災科学技術センター研究速報, 13, 37~54.

注

古藤田一雄 (1974) の琵琶湖の水収支の結果と比較してみる. 琵琶湖集水域: 3,131 km², 琵琶湖: 717 km², 年降水高 (P): 1,941 mm, 年蒸発散高 ($P-R$, 推定実蒸発散高と考えている): 672 mm, 流出高 (R): 1,269 mm, Penman 法による蒸発高 (E_p , 自由水面): 921 mm, 蒸発計蒸発高 (E_{20} , 彦根): 997 mm である. ① 蒸発計蒸発高と推定実蒸発散高との比, $(P-R)/E_{20}=672/997 \approx 0.674$ (65% の値にほぼ近い). ② Penman 法による蒸発高と推定実蒸発散高との比, $(P-R)/E_p=672/921 \approx 0.730$ (0.80 の値よりやや小さい). ③ 琵琶湖集水域の場合は, 蒸発計蒸発量と Penman 法による蒸発量との関係は, $0.674 \cdot E_{20} = 0.730 \cdot E_p (=672 \text{ mm})$ となる.

(1975年6月9日原稿受理)

Evaporation calculated by Penman's method*.

1) 10 years' mean value (1951-1960)

Item	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
R_A	391	514	671	834	931	945	942	868	729	575	436	355	
T	-1.6	-1.2	1.6	7.8	13.5	18.0	22.0	23.2	18.6	12.4	6.2	1.7	
n/D	0.18	0.24	0.34	0.47	0.45	0.41	0.37	0.43	0.38	0.35	0.29	0.18	
u_2	3.3	3.0	2.9	3.2	2.9	2.7	2.0	1.9	2.0	1.9	2.3	2.6	
e_a	—	—	4.3	6.2	9.0	12.7	17.0	18.3	14.0	9.4	6.3	4.0	
e_a	—	—	5.1	7.9	11.6	15.5	19.8	21.3	16.1	10.8	7.1	5.2	
Δ	—	—	0.370	0.540	0.758	0.975	1.215	1.290	1.005	0.713	0.493	0.372	
E_0	0	0	1.36	2.60	3.45	3.69	3.71	4.53	2.53	1.50	0.83	0.78	
Monthly evaporation	0	0	42.16	78.00	106.95	110.70	115.01	134.85	75.90	46.50	24.90	24.18	759.15

2) 10 years' mean value (1961-1970)

Item	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
R_A	391	514	671	834	931	945	942	868	729	575	436	355	
T	-1.6	-1.6	0.7	7.7	14.3	18.2	22.3	23.5	18.4	11.7	5.9	0.7	
n/D	0.15	0.27	0.27	0.45	0.50	0.38	0.34	0.45	0.38	0.36	0.24	0.15	
u_2	3.0	3.2	3.1	2.9	2.9	2.5	2.1	1.9	1.9	1.8	2.2	2.4	
e_a	—	—	4.0	6.2	9.2	13.0	17.9	18.9	14.1	9.1	6.2	4.4	
e_a	—	—	4.8	7.9	12.2	15.7	20.2	21.7	15.9	10.3	7.0	4.8	
Δ	—	—	0.349	0.540	0.795	0.990	1.230	1.313	0.998	0.683	0.484	0.349	
E_0	0	0	1.30	2.52	3.72	3.56	3.57	3.78	2.47	1.44	0.80	0.48	
Monthly evaporation	0	0	40.30	75.60	115.32	106.80	110.67	117.18	74.10	44.64	24.00	14.88	723.49

* The author considers there is no evaporation on water surface in case of the temperature below zero degree. During these months the earth is covered with snow.

新庄盆地の気候学的水収支—東浦

3) 1963

Item	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
<i>T</i>	-1.8	-1.5	0.2	7.9	14.1	18.3	22.4	23.3	16.6	11.7	6.3	2.2	
<i>n/D</i>	0.17	0.26	0.52	0.49	0.49	0.26	0.32	0.49	0.42	0.37	0.20	0.17	
<i>u₂</i>	2.8	2.4	2.8	2.7	2.6	2.9	1.7	2.0	1.9	1.8	2.0	2.4	
<i>e_a</i>	—	—	3.9	6.4	9.8	13.7	18.2	18.7	12.5	9.1	6.4	4.7	
<i>e_a</i>	—	—	4.6	8.0	12.1	15.8	20.3	21.5	14.2	10.3	7.2	5.4	
<i>Δ</i>	—	—	0.338	0.548	0.778	0.990	1.238	1.290	0.900	0.683	0.495	0.384	
Monthly evaporation	0	0	42.78	76.20	107.88	93.60	106.33	121.21	72.60	46.19	24.49	18.29	709.57

4) 1964

Item	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
<i>T</i>	-0.5	-1.8	1.7	9.3	14.8	17.8	22.1	24.5	17.3	11.0	6.0	0.5	
<i>n/D</i>	0.16	0.26	0.37	0.39	0.62	0.35	0.36	0.45	0.32	0.33	0.25	0.13	
<i>u₂</i>	2.4	2.5	2.8	3.0	3.0	2.7	1.9	2.0	2.0	1.8	2.2	2.3	
<i>e_a</i>	—	—	4.1	7.2	9.3	12.8	17.6	20.3	13.3	8.6	6.1	4.3	
<i>e_a</i>	—	—	5.2	8.8	12.6	15.3	19.9	23.1	14.8	9.8	7.0	4.7	
<i>Δ</i>	—	—	0.372	0.593	0.818	0.968	1.215	1.380	0.938	0.660	0.487	0.345	
Monthly evaporation	0	0	45.88	74.40	128.65	102.90	111.91	120.28	67.50	43.09	24.90	14.88	734.39

5) 1965

Item	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
<i>T</i>	-0.8	-1.9	-0.1	4.2	13.1	18.3	20.4	23.3	18.3	11.0	5.4	0.5	
<i>n/D</i>	0.19	0.20	0.28	0.39	0.43	0.46	0.22	0.60	0.40	0.43	0.26	0.13	
<i>u₂</i>	3.1	4.9	4.5	3.8	2.9	2.3	2.4	2.1	2.1	1.4	2.9	3.3	
<i>e_a</i>	—	—	—	4.8	8.6	12.9	16.0	18.3	13.9	8.7	5.9	4.4	
<i>e_a</i>	—	—	—	6.2	11.3	15.8	18.0	21.5	15.8	9.8	6.7	4.7	
<i>Δ</i>	—	—	—	0.436	0.742	0.990	1.110	1.298	0.990	0.660	0.469	0.345	
Monthly evaporation	0	0	0	68.70	105.40	114.60	93.00	135.00	76.20	43.71	25.20	14.88	676.69

6) 1966

Item	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
<i>T</i>	-1.6	-0.8	1.9	8.5	13.2	17.4	20.9	24.0	18.4	13.5	5.5	-1.1	
<i>n/D</i>	0.16	0.28	0.32	0.53	0.47	0.36	0.19	0.47	0.32	0.37	0.19	0.09	
<i>u₂</i>	4.8	3.4	3.7	3.2	3.1	2.9	1.8	1.9	1.7	1.5	2.0	2.2	
<i>e_a</i>	—	—	4.4	6.5	8.9	12.6	16.7	19.5	14.1	10.4	6.2	—	
<i>e_a</i>	—	—	5.3	8.3	11.4	14.9	18.5	22.4	15.9	11.6	6.8	—	
<i>Δ</i>	—	—	0.378	0.570	0.743	0.945	1.140	1.350	0.998	0.753	0.472	—	
Monthly evaporation	0	0	45.57	83.10	108.19	102.90	87.42	121.21	69.60	64.48	21.90	0	704.37

7) 1967

Item	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
<i>T</i>	-2.2	-1.5	1.5	8.7	15.1	18.4	23.6	23.3	18.7	11.8	5.4	-0.2	
<i>n/D</i>	0.10	0.27	0.35	0.42	0.46	0.38	0.37	0.44	0.27	0.37	0.27	0.13	
<i>u₂</i>	3.6	2.5	2.7	3.7	2.6	2.4	1.7	1.7	2.0	2.0	2.6	1.9	
<i>e_a</i>	—	—	4.2	6.4	9.7	13.0	19.4	19.2	14.7	8.9	5.9	—	
<i>e_a</i>	—	—	5.1	8.4	12.9	15.9	21.8	21.5	16.2	10.4	6.7	—	
<i>Δ</i>	—	—	0.368	0.577	0.829	0.998	1.320	1.298	1.013	0.690	0.469	—	
Monthly evaporation	0	0	42.78	82.50	112.84	107.70	116.25	113.15	66.60	47.43	24.60	0	713.85

8) 1968

Item	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
<i>T</i>	-1.5	-2.3	1.8	7.9	13.3	18.8	22.4	22.9	18.4	11.1	6.7	3.3	
<i>n/D</i>	0.16	0.28	0.42	0.43	0.44	0.50	0.46	0.36	0.48	0.34	0.26	0.18	
<i>u₂</i>	3.4	2.9	2.6	2.1	3.1	2.6	2.5	1.8	2.3	1.8	1.9	2.0	
<i>e_a</i>	—	—	4.4	6.5	9.4	13.3	17.6	18.8	13.5	8.7	6.7	5.4	
<i>e_a</i>	—	—	5.2	8.0	11.4	16.3	20.3	20.9	15.9	9.9	7.4	5.8	
<i>Δ</i>	—	—	0.375	0.548	0.743	1.020	1.238	1.275	0.998	0.660	0.507	0.412	
Monthly evaporation	0	0	43.40	69.90	101.99	121.80	128.65	102.92	84.30	43.40	22.80	14.88	734.04

新庄盆地の気候学的水収支—東浦

9) 1969

Item	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
<i>T</i>	-1.7	-1.7	-0.2	8.3	13.7	18.2	21.9	22.7	17.7	11.4	5.7	-0.9	
<i>n/D</i>	0.15	0.22	0.39	0.46	0.56	0.39	0.31	0.39	0.38	0.40	0.20	0.16	
<i>u₂</i>	2.2	2.6	2.7	2.6	3.3	2.3	2.1	1.8	1.5	2.1	2.0	2.7	
<i>e_a</i>	—	—	—	6.7	8.6	13.1	17.3	18.3	14.0	8.6	6.2	—	
<i>e_a</i>	—	—	—	8.2	11.8	15.7	19.7	20.7	15.2	10.1	6.9	—	
<i>Δ</i>	—	—	—	0.555	0.765	0.990	1.208	1.260	0.960	0.675	0.478	—	
Monthly evaporation	0	0	0	73.80	122.45	106.20	106.64	106.95	69.30	47.74	22.80	0	655.88

10) 1970

Item	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
<i>T</i>	-2.7	-1.2	-1.6	6.2	15.6	18.1	22.4	23.6	18.8	11.8	4.9	-0.2	
<i>n/D</i>	0.19	0.34	0.32	0.46	0.55	0.36	0.36	0.44	0.40	0.36	0.25	0.18	
<i>u₂</i>	2.5	4.3	4.2	2.4	3.0	2.3	2.4	1.9	1.8	1.6	1.9	2.8	
<i>e_a</i>	—	—	—	5.7	9.3	12.5	17.5	18.3	14.2	9.2	5.9	—	
<i>e_a</i>	—	—	—	7.1	13.3	15.6	20.3	21.8	16.3	10.4	6.5	—	
<i>Δ</i>	—	—	—	0.493	0.855	0.983	1.238	1.320	1.020	0.690	0.455	—	
Monthly evaporation	0	0	0	69.00	129.27	105.60	116.56	118.11	76.80	44.02	21.30	0	680.66

11) 1971

Item	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
<i>T</i>	-1.0	-1.6	0.8	7.2	13.5	18.0	22.7	23.3	17.4	10.9	5.7	0.3	
<i>n/D</i>	0.19	0.31	0.33	0.51	0.48	0.38	0.35	0.43	0.25	0.29	0.34	0.17	
<i>u₂</i>	2.6	2.5	3.6	3.0	2.8	2.2	1.8	1.9	2.1	1.7	1.8	2.3	
<i>e_a</i>	—	—	3.9	5.3	7.8	12.5	17.4	17.8	12.5	8.2	5.8	4.1	
<i>e_a</i>	—	—	4.9	7.6	11.6	15.5	20.7	21.5	14.9	9.8	6.9	4.7	
<i>Δ</i>	—	—	0.352	0.525	0.758	0.975	1.260	1.298	0.945	0.653	0.478	0.341	
Monthly evaporation	0	0	45.88	83.40	113.10	106.20	115.01	117.18	68.40	44.02	24.60	16.43	734.22