

3. 現状分析

気象や地形、地質、土地利用、自然環境、水利用、湧水等の水循環機構の把握に関する情報について整理・分析するとともに、普天間飛行場の周辺一帯を踏査し現状を把握する。また、河川流量や地下水位等の観測状況やデータ等进行分析し、検討の基礎となる情報について整理する。なお、適時実施が必要と考えられる事項が把握された際には、発注者へ提案を行う。

3.1 検討方針

3.1.1 検討フロー

現状分析の検討フローを図 3.1.1 に示す。

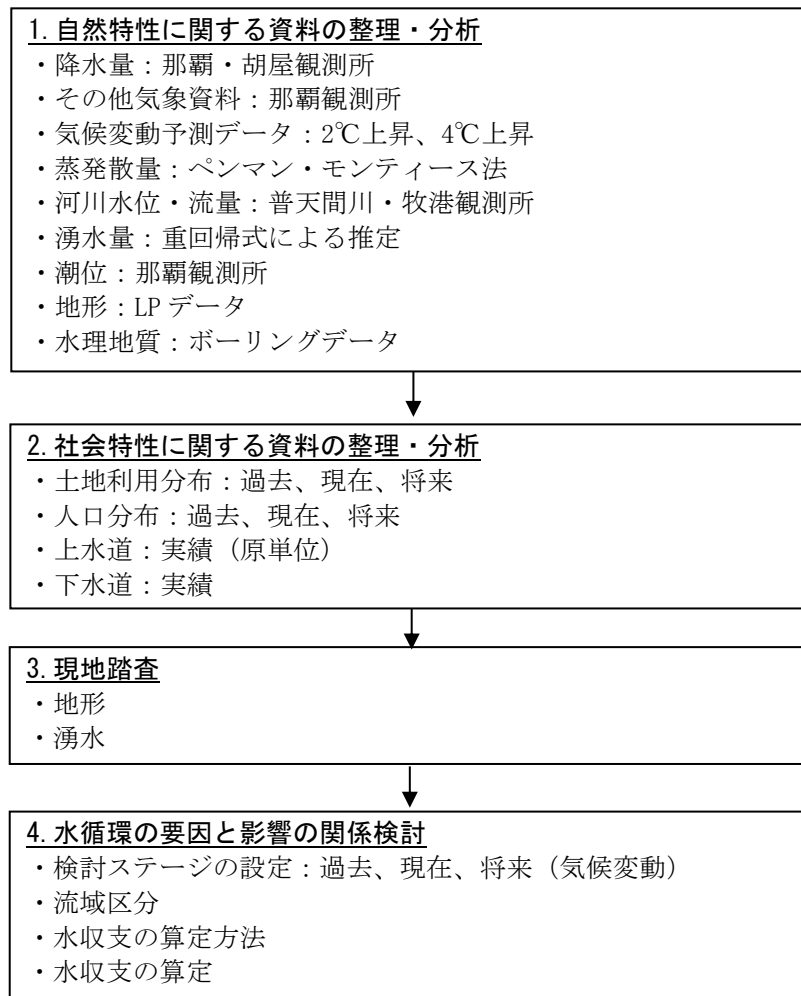


図 3.1.1 現状分析の検討フロー図

3.1.2 収集データと水循環解析の関係

本業務では、昭和 15 年～令和 5 年の期間を対象に収集したデータを整理・分析する。収集データと水循環解析の関係は図 3.1.2 のとおりである。

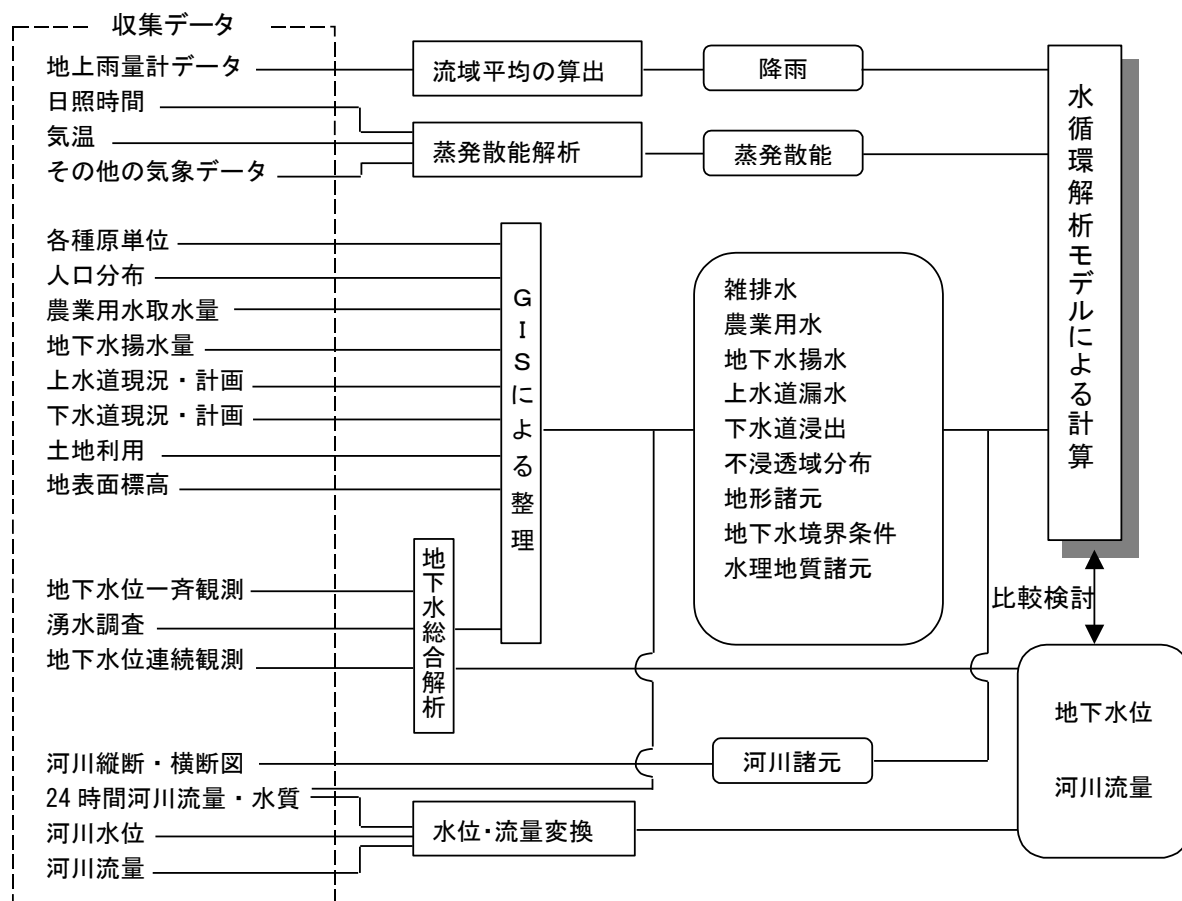


図 3.1.2 収集データと水循環解析の関係

3.2 自然特性に関する資料の整理・分析

「2.収集整理」で収集した気象、水象、地形、地質に関する資料を整理・分析する。

3.2.1 降水量

(1) 年降水量の分析

長期間の降水量の変化を把握するため、那覇（気）観測所、胡屋（気）観測所の年降水量の特性を分析する。明治 24 年～令和 5 年の 133 年間における那覇（気）観測所の年降水量の経年変化、胡屋（気）の観測が開始された昭和 51～令和 5 年の年降水量の経年変化を図 3.2.1 に示す。

- ・明治 24 年～令和 5 年の 133 年間における那覇（気）観測所の年降水量の平均値は 2,140mm 程度である。
- ・明治 24 年～令和 5 年の年降水量は変動が大きく、この期間の回帰曲線の傾きの上昇は見られない
- ・昭和 51 年～令和 5 年における胡屋（気）観測所の年降水量の平均値は 2,150mm 程度である。
- ・昭和 51 年～令和 5 年における、那覇（気）観測所、胡屋（気）観測所の年降水量の回帰曲線の傾きの上昇が見られる。
- ・近年、降水量が増加傾向にある一方、平成 5 年、平成 20 年のような 1,400mm 程度の渇水もある。

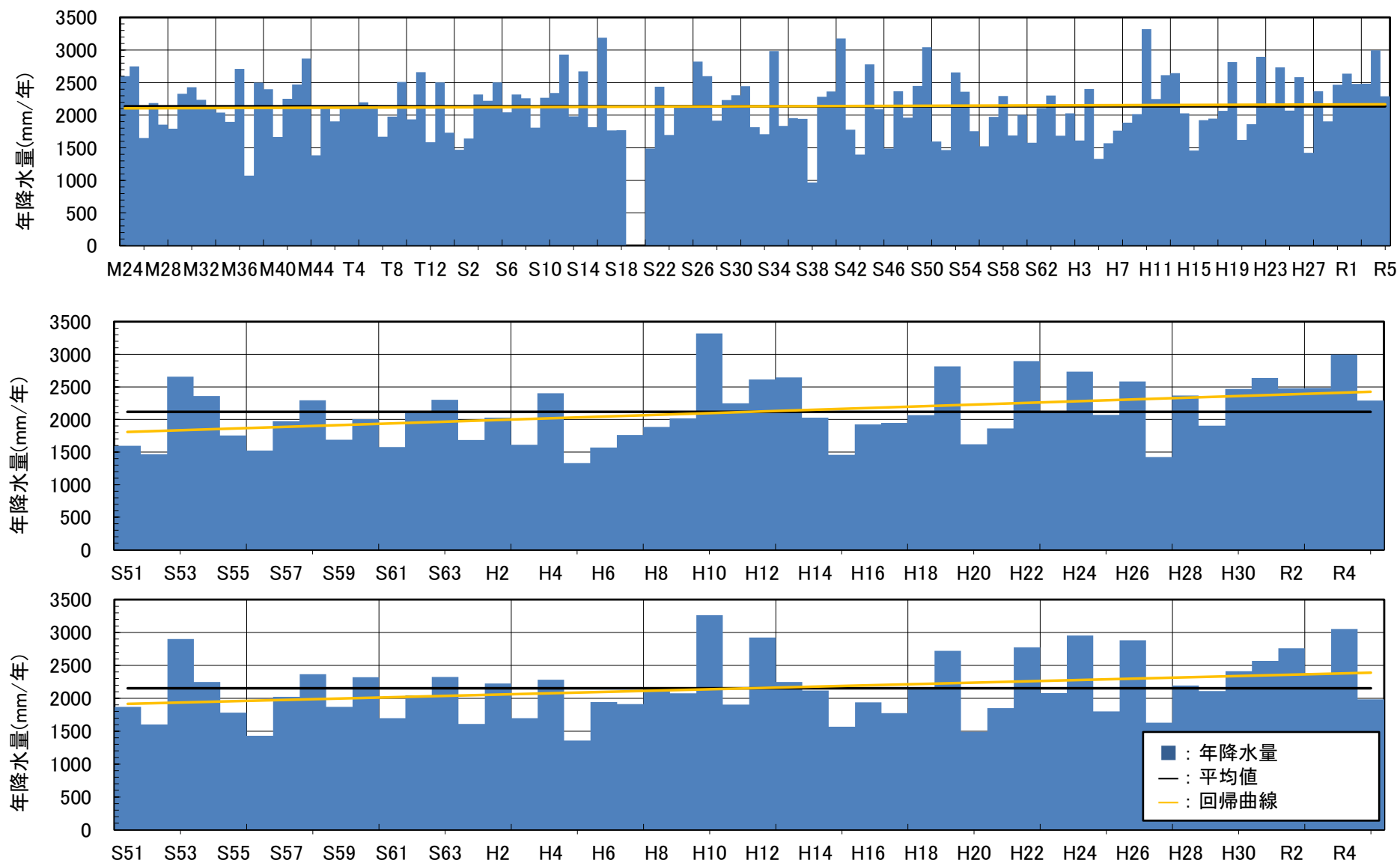


図 3.2.1 年降水量の経年変化図

(2) 月降水量の分析

那覇（気）観測所、胡屋（気）観測所の月雨量の特性を分析する。明治 24 年～令和 5 年の 133 年間における那覇（気）観測所の月雨量、胡屋（気）の観測が開始された昭和 51～令和 5 年の月雨量の比較図を図 3.2.2 に示す。胡屋（気）観測所の月降水量の経年変化を図 3.2.3 に示す。

- ・明治 24 年～令和 5 年の 133 年間における那覇（気）観測所の月雨量は、梅雨期の 6 月に降雨が多く月雨量は 280mm 程度である。12 月の降雨が少なく 110 mm 程度である。
- ・昭和 51 年～令和 5 年における胡屋（気）観測所の月毎の降水量の特性は、那覇（気）観測所と同じである。胡屋（気）観測所の方が、那覇（気）観測所より梅雨期の月雨量が多い。
- ・令和 2 年 2 月、平成 30 年 5 月など、月単位で渇水が発生している（非超過確率年は後述）。また、6 月、7 月の雨量の変動が大きい。

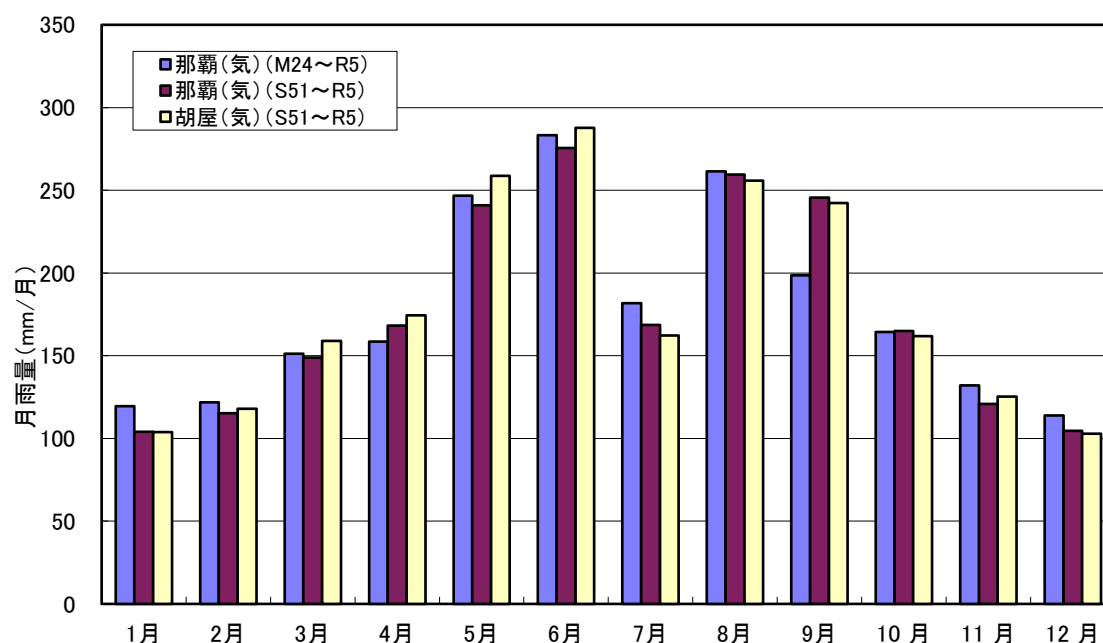


図 3.2.2 月雨量比較図

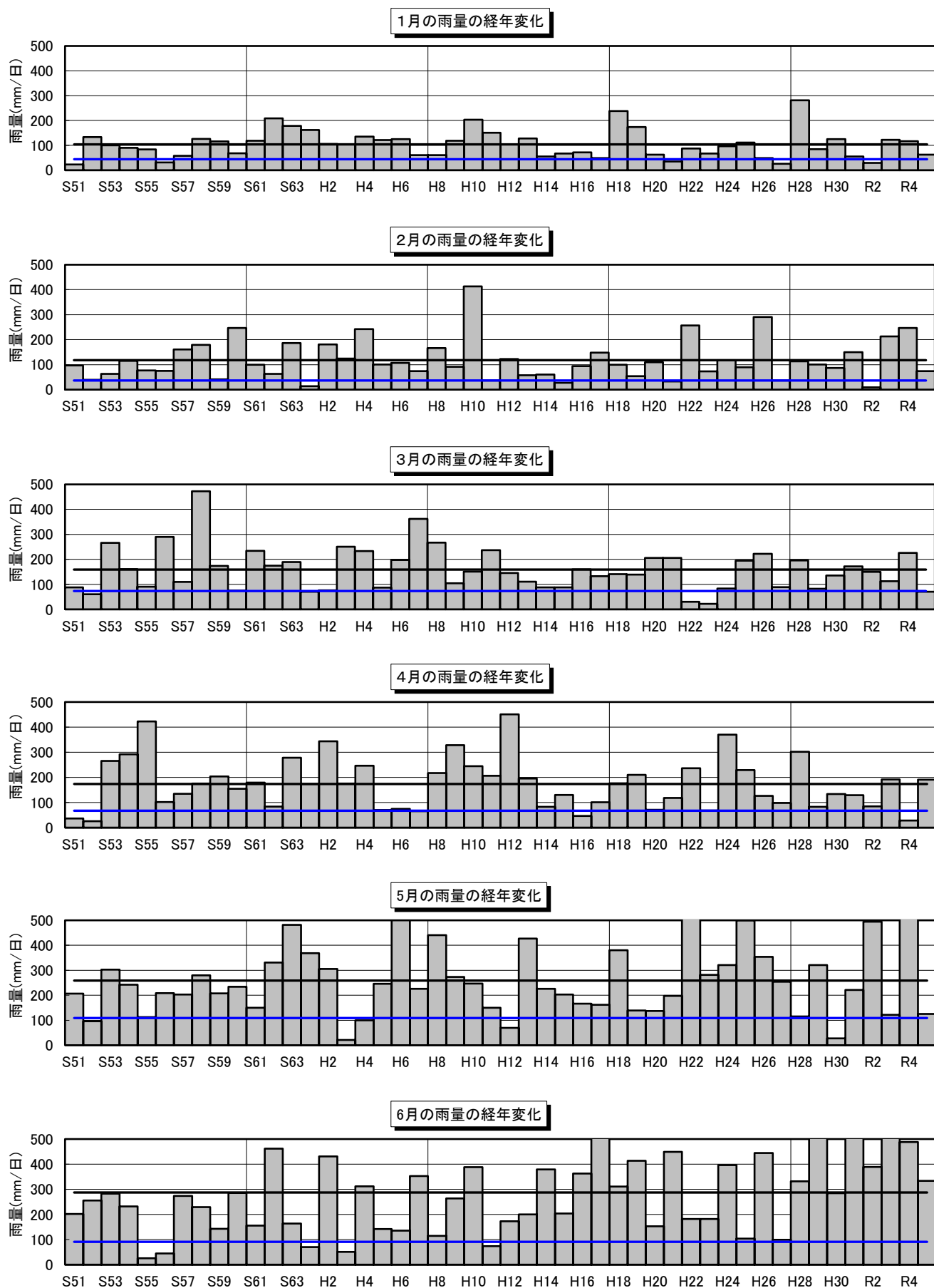


図 3.2.3(1) 月降水量の経年変化（胡屋（気）観測所）（1月～6月）

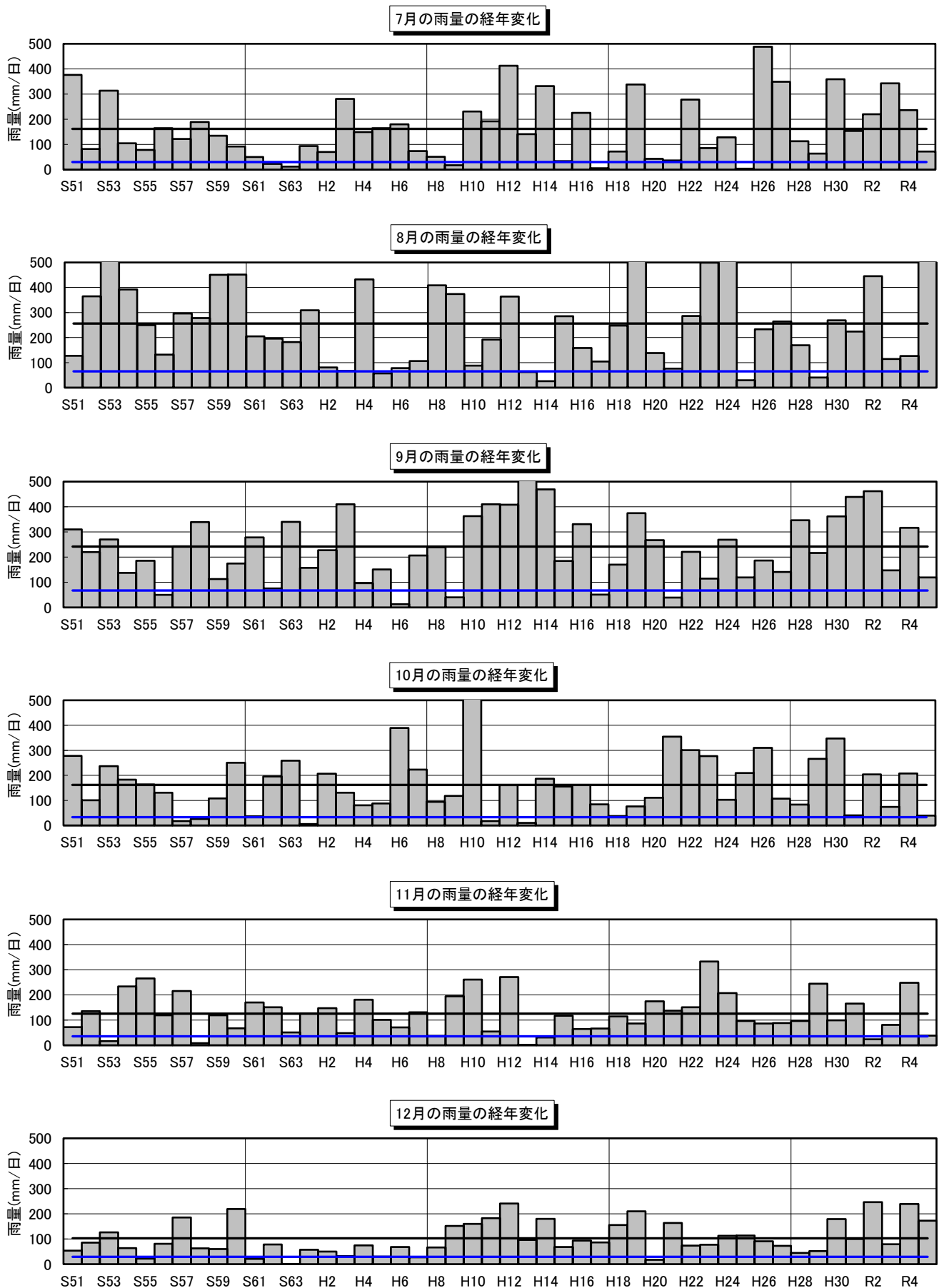


図 3.2.3(2) 月降水量の経年変化（胡屋（気）観測所）（7月～12月）

(3) 確率雨量

「平成6年のような渇水は何年くらいの周期で繰り返されるのか」というように、どの程度の渇水（または豊水・洪水）が何年周期で再現されるかといった、「渇水（または豊水・洪水）の程度と再現期間」を求める方法のひとつとして、「雨量の非超過確率解析」がある。昭和51年～令和5年の48年間における胡屋（気）の月降水量、年降水量をもとに、ハーゼン法による降雨確率を実施し、再現期間と確率雨量の統計的特性を検討した。非超過確率雨量を表 3.2.1に、確率雨量図（非超過確率雨量）を図 3.2.4～図 3.2.5に示す。

表 3.2.1 非超過確率年毎の降水量（mm）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
平均	103.8	118.0	158.9	174.3	258.8	287.8	162.3	255.8	242.2	161.8	125.4	103.0	2,152.1
1/10渇水年	44.1	36.8	73.7	67.7	108.7	91.1	30.4	65.4	67.7	33.4	35.7	29.3	1,608.0

【非超過確率】

非超過確率は「その値を超えない確率がいくつであるか」と定義されるので、「その雨量を超えない確率がいくつであるか」を示している。例えば、非超過確率 20%の雨量は、5年に1年はその値を超えない（＝5年に4年は超える）ので、その年の雨量は5年に1回おきる小さい値といえる。同様に、非超過確率 80%の雨は、5年に4年はその値を超えない（＝5年に1年は超える）ので、その年降水量は5年に1回おきる大きい値といえる。

一般に、非超過確率 20%の雨量は「1/5 渇水雨量」、非超過確率 10%の雨量は「1/10 渇水雨量」、非超過確率 80%の雨量は「1/5 豊水雨量」、非超過確率 90%の雨量は「1/10 豊水雨量」、と呼ばれている。

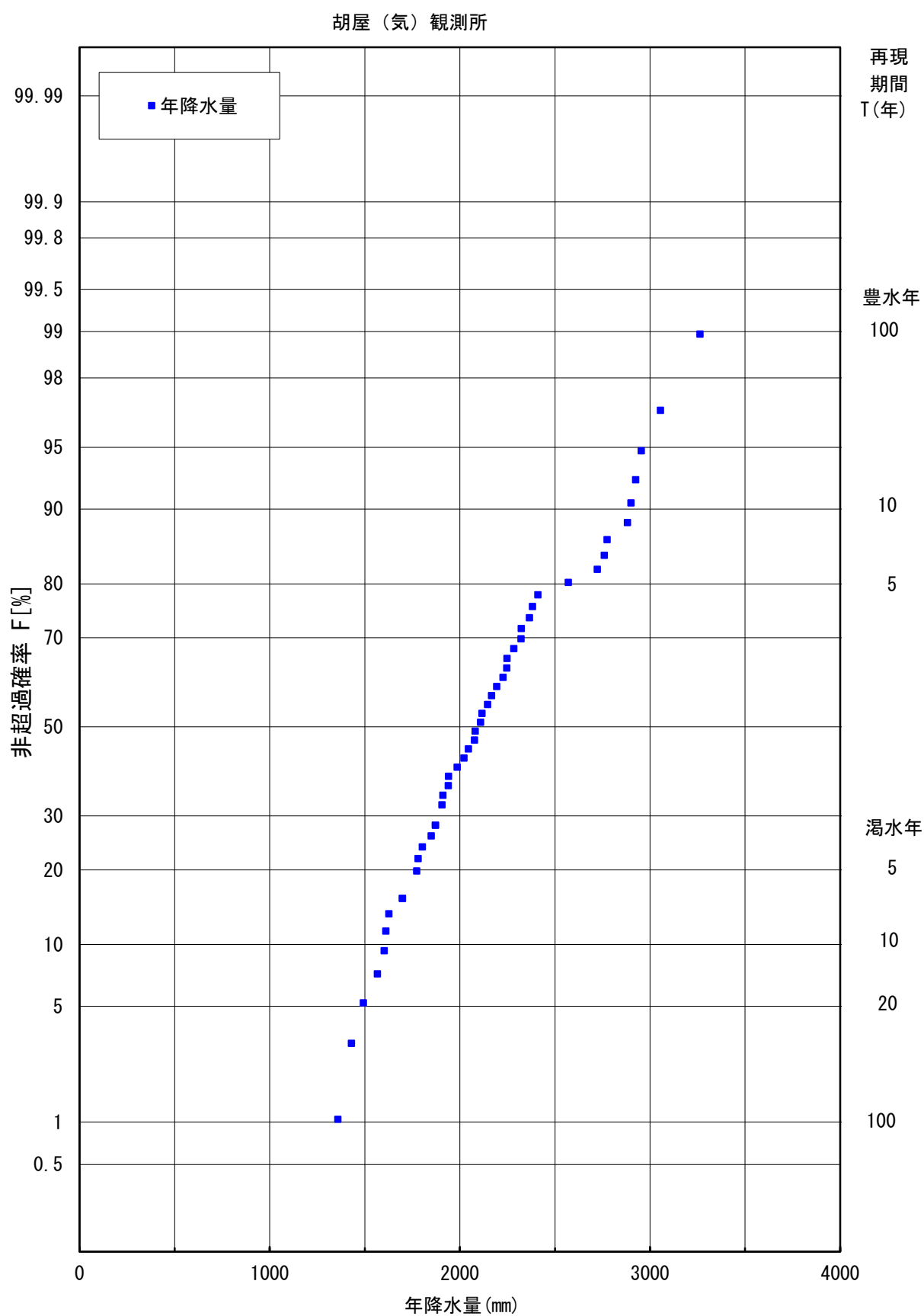


図 3.2.4 年降水量確率図(胡屋(気)観測所)

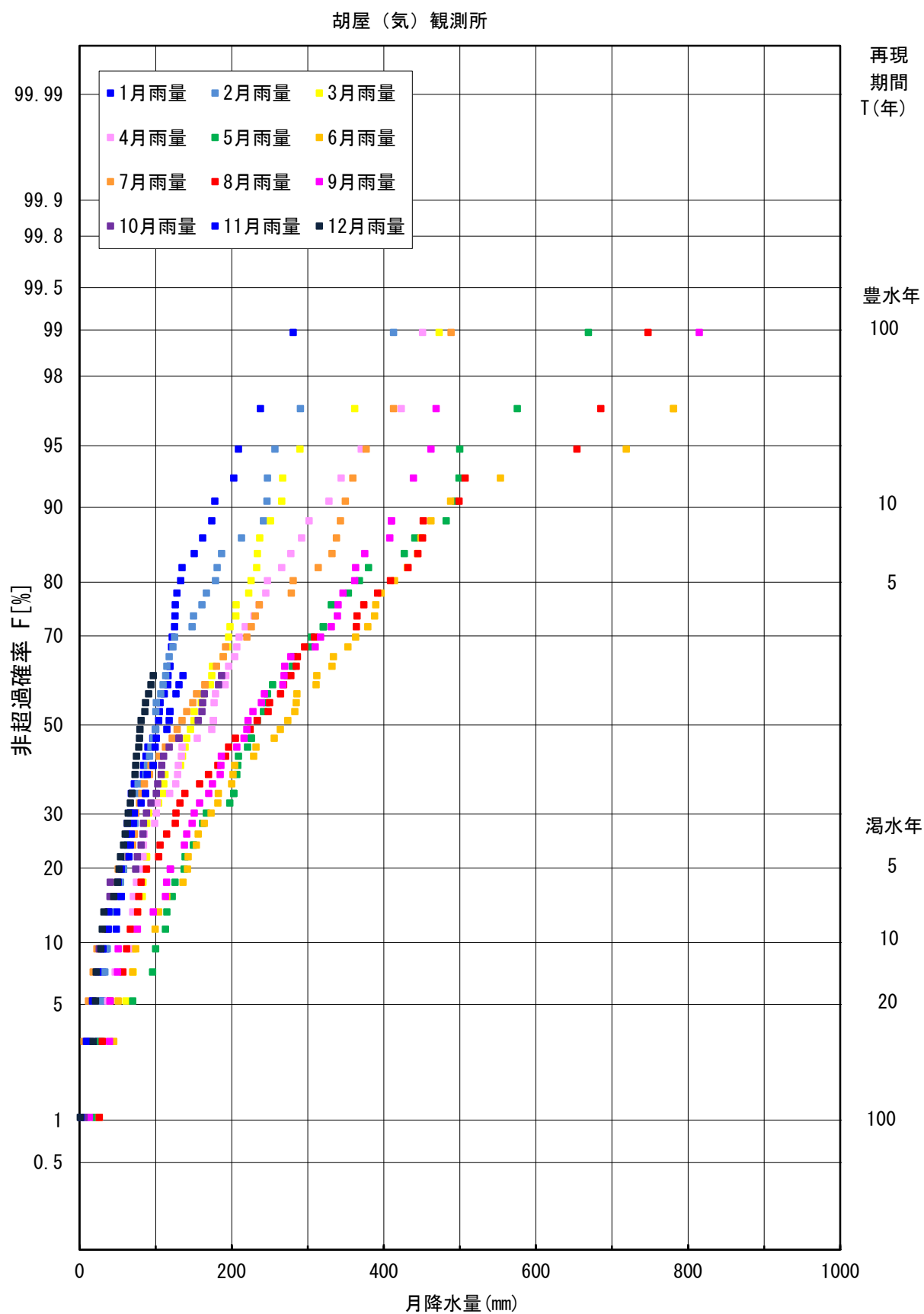


図 3.2.5 月降水量確率図(胡屋(気)観測所)

(4) 相関解析

各観測所雨量の関係を確認するため、日雨量を基に各観測所の相関係数を計算した。解析期間は昭和51年～令和5年の48年間とした。相関解析の結果を表3.2.2～表3.2.3、図3.2.6に示す。観測所間の相関係数は0.8を超えており、相関が高いことが分かる。

表 3.2.2 相関係数

	那覇(気)	胡屋(気)	普天間川	当山
那覇(気)	1.000	0.856	0.875	0.886
胡屋(気)	0.856	1.000	0.919	0.854
普天間川	0.875	0.919	1.000	0.899
当山	0.886	0.854	0.899	1.000

表 3.2.3 回帰係数

	那覇(気)	胡屋(気)	普天間川	当山
那覇(気)	1.000	0.875	0.820	0.830
胡屋(気)	0.924	1.000	0.860	0.818
普天間川	1.018	1.035	1.000	0.943
当山	1.023	0.988	0.916	1.000

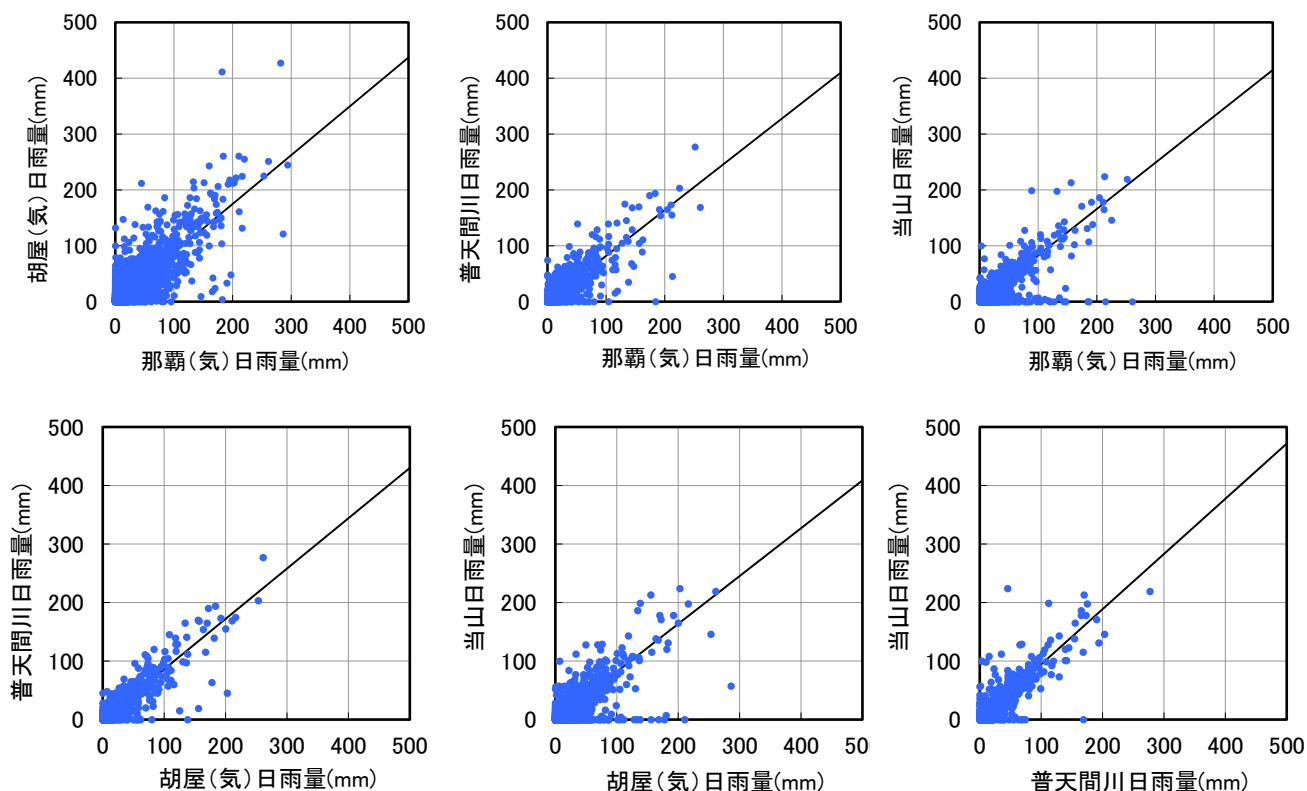


図 3.2.6 相関図

3.2.2 その他気象資料

蒸発散量を算定するにあたって必要となる気象資料は、平均気温、相対湿度、風速、日射率（日照時間/可照時間）である。那覇（気）観測所の平均気温、相対湿度、風速、日照時間の月平均値の経月年変化図を図 3.2.8～図 3.2.11 に示す。

- ・ 平均気温

那覇（気）観測所の年平均値の変動幅は、21.1℃～24.4℃の 3.3℃である。月別の平均気温の変動幅は、5℃程度である。

- ・ 相対湿度

那覇（気）観測所の年平均値の変動幅は、69%～86%の 17%である。月別の相対湿度の変動幅は、12 月、1 月に大きい。

- ・ 平均風速

那覇（気）観測所の年平均値の変動幅は、3.7m/s～6.3m/s の 2.6m/s である。月別の平均風速の変動幅は、9 月（台風期）、1 月に大きい。

③日照時間

那覇（気）観測所の年平均値の変動幅は、1503hr～2579hr の 1077hr である。月別の日照時間の変動幅は、5～6 月（梅雨期）に大きい。

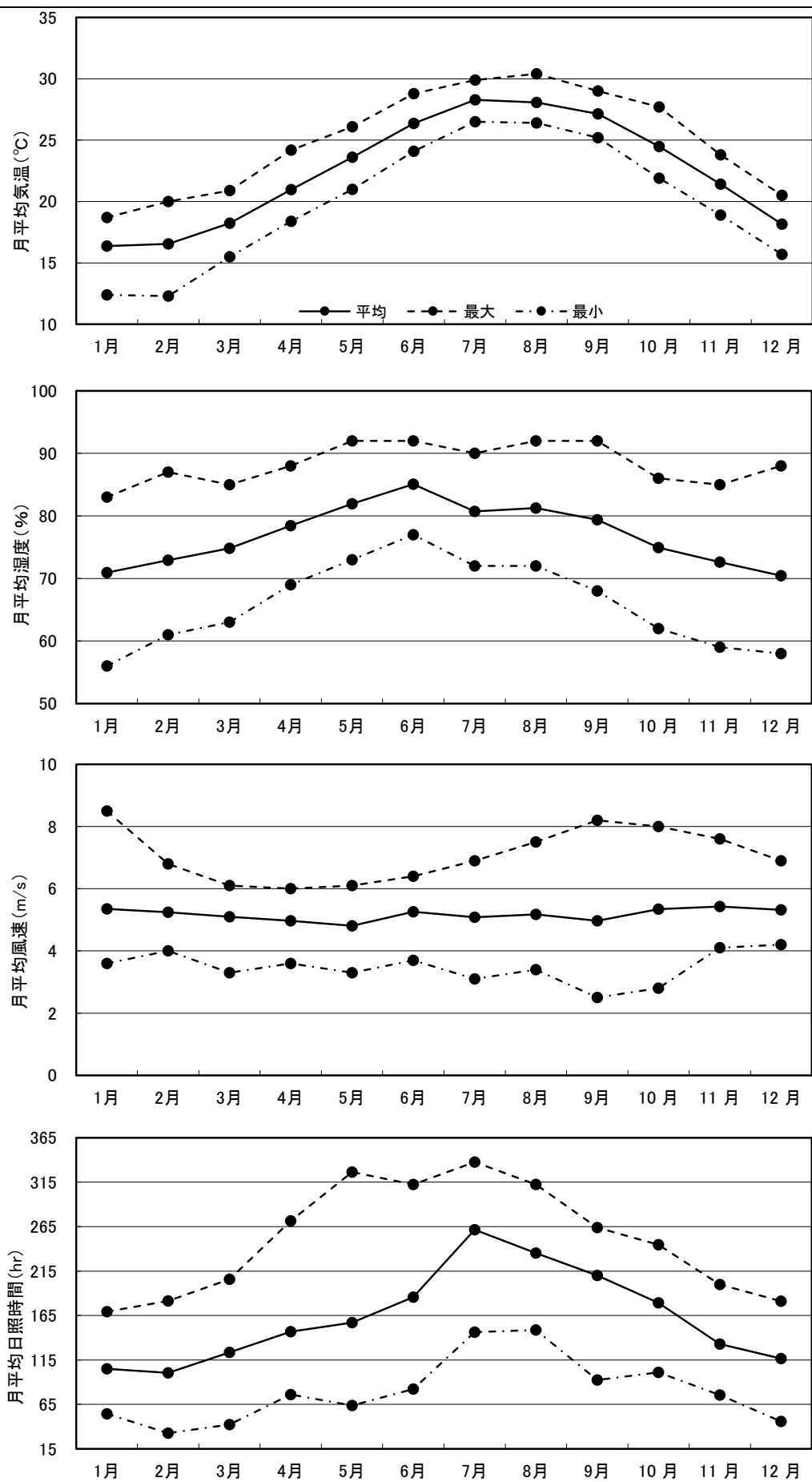


図 3.2.7 気象資料の月変化

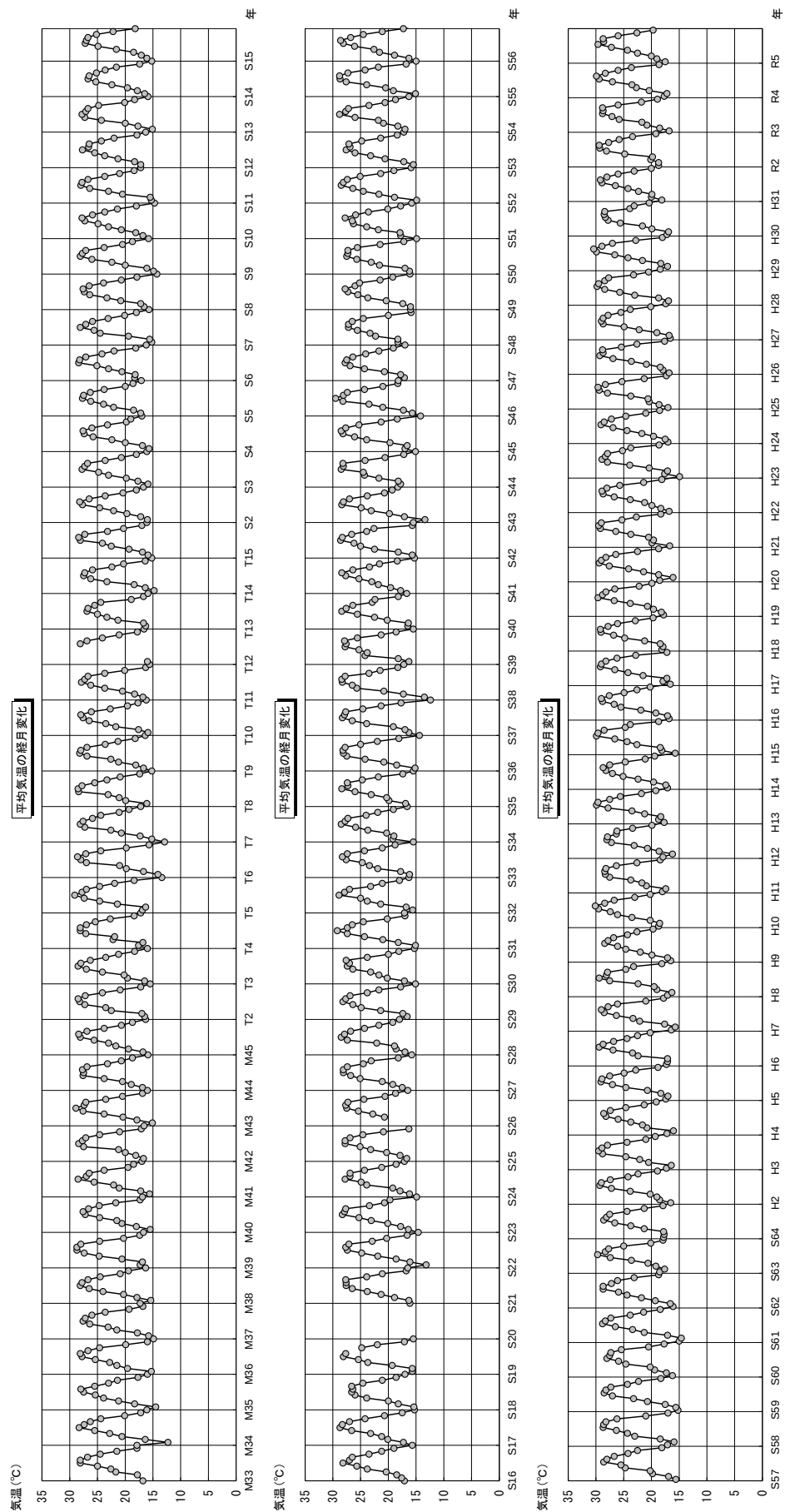


図 3.2.8 平均気温の経月変化（那覇（気）観測所）

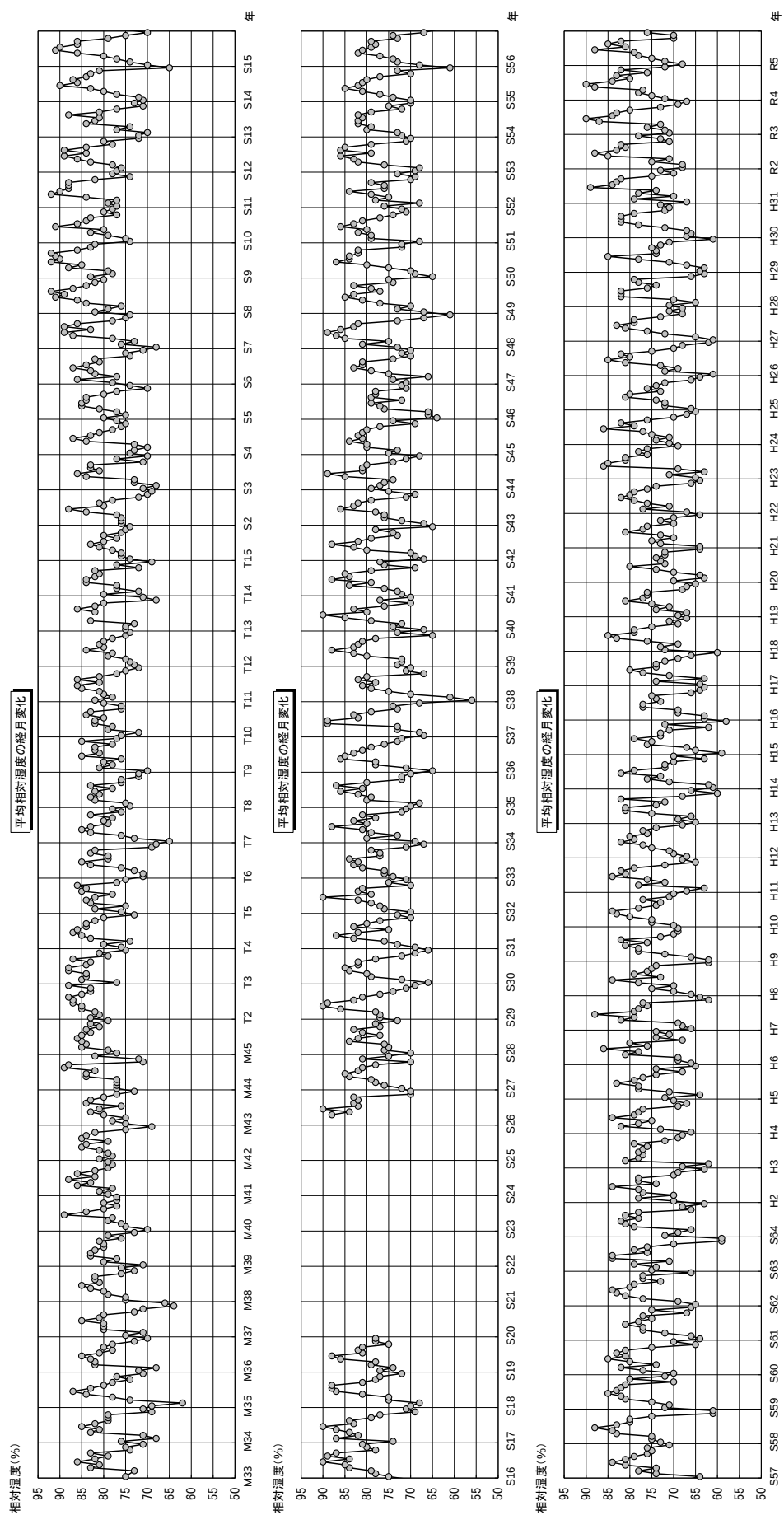


図 3.2.9 平均相対湿度の経月変化（那覇（気）観測所）

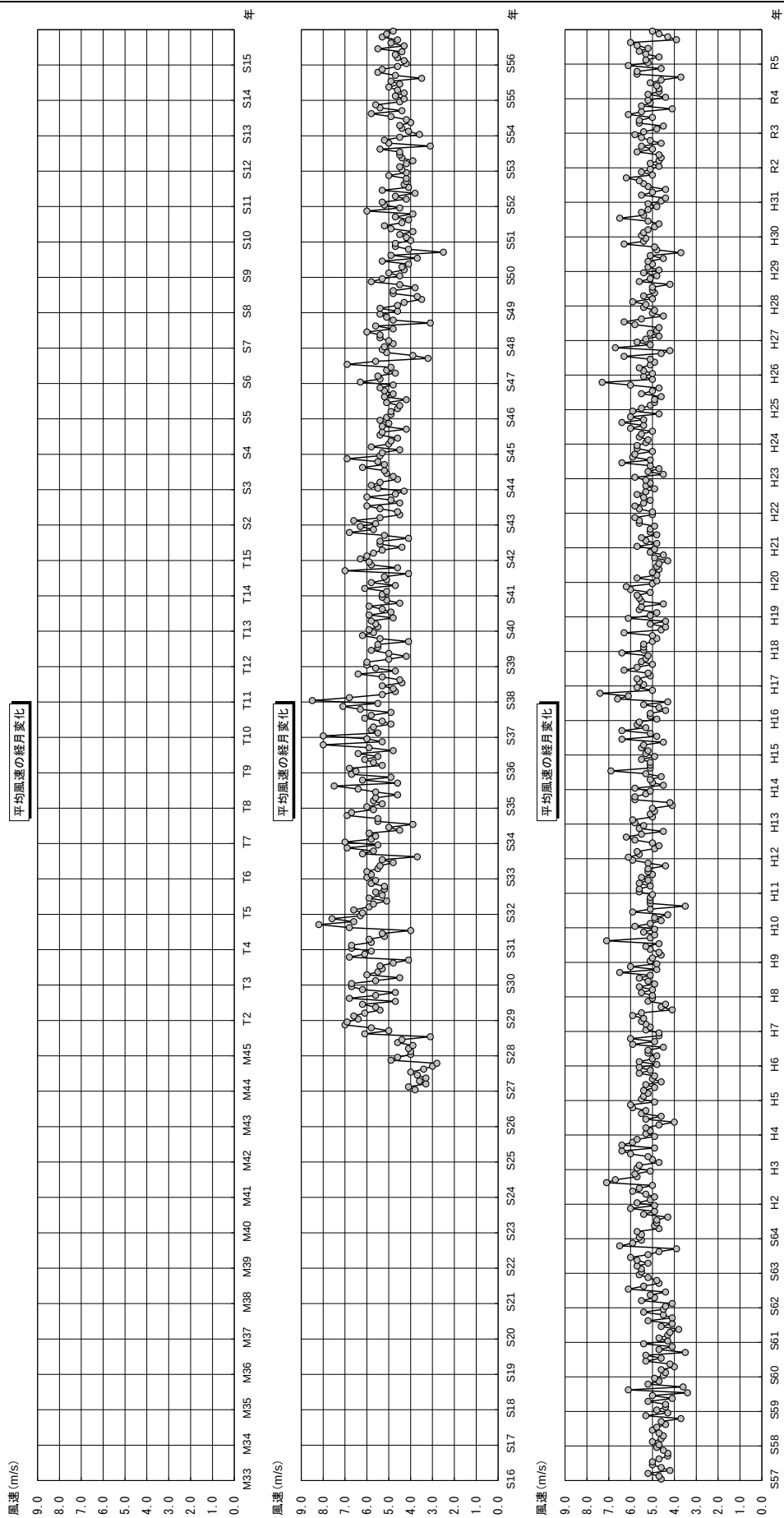


図 3.2.10 平均風速の経月変化（那覇（気）観測所）

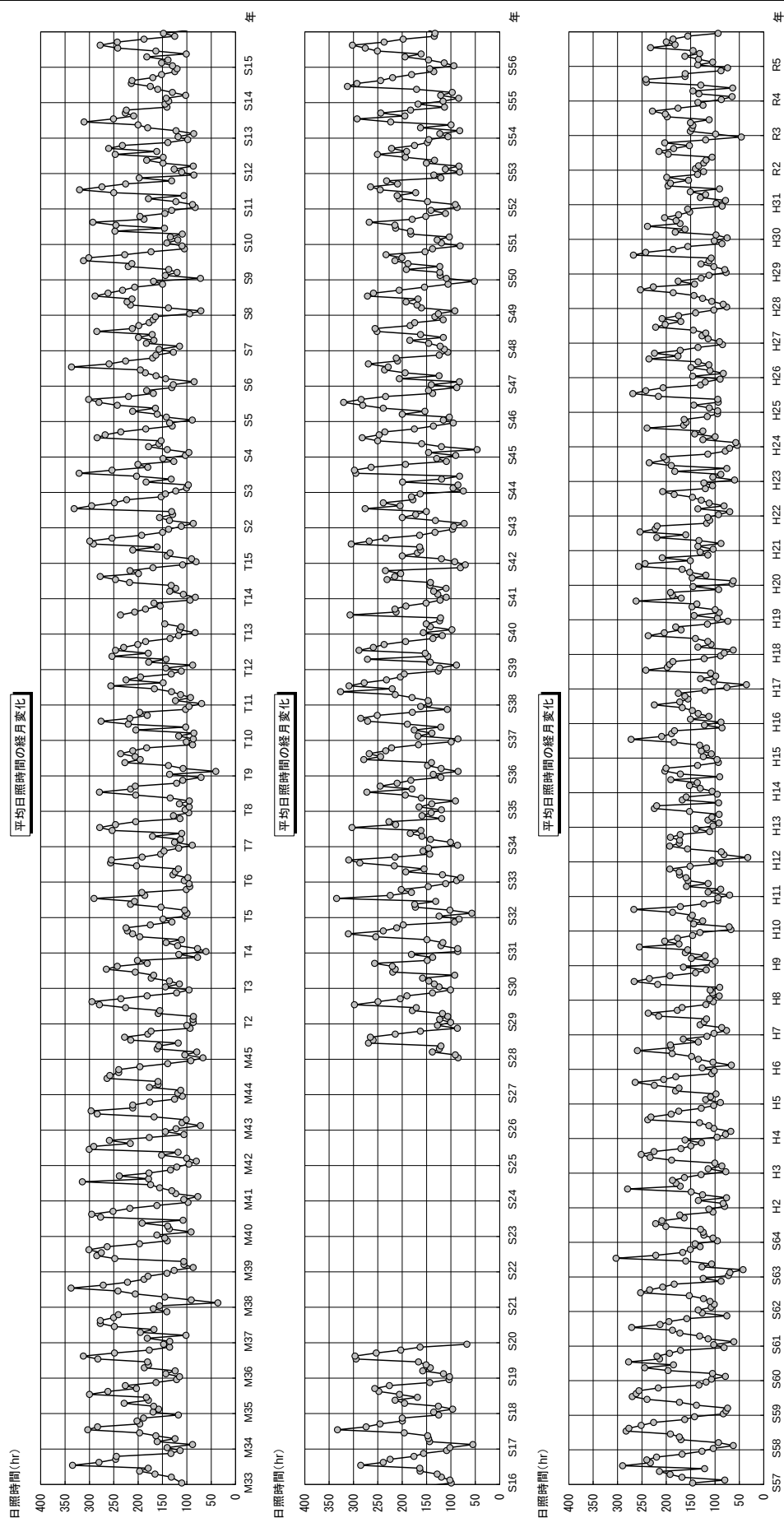


図 3.2.11 平均日照時間の経月変化（那覇（気）観測所）

3.2.3 蒸発散量

(1) 蒸発散算定方法の概要

蒸発散算定方法には、主にハーモン法、ペンマン法、ペンマン・モンティース法が使用される。それぞれの蒸発散モデルについて、表 3.2.4 に整理した。蒸発散モデルは、気温以外に日射量等の気象因子による影響を分析するため、種々の土地利用下（植生）で詳細な蒸発散量を算定できるペンマン・モンティース法を適用した。

表 3.2.4 蒸発散算定方法の整理

	ハーモン法 (Hamon)	ペンマン法 (Penman)	ペンマン・モンティース法 (Penman-Monteith)
気象因子 (使用データ)	地上気温	地上気温、湿度、風速、日射量 (日照時間)	地上気温、湿度、風速、日射量(日照時間)
土地被覆 因子	—	土地利用別のアルベド、熱流量 係数	土地利用別のアルベド、熱流量係 数、LAI（葉面積指数）、植生高
算定方法	・可照時間と平均飽和湿度（気温の関数）から月平均（日平均）の可能蒸発散量を算出する。 ・一般的に、可能蒸発散量に月別の蒸発散比を乗じて実蒸発散量を算出する。	・熱収支と空気力学的な関係から日平均の可能蒸発散量を算出する。 ・土地利用別のアルベド、熱流量係数を設定する。 ・可能蒸発散量に土地利用別の補正係数（既往研究）を乗じて実蒸発散量を算出する。	・熱収支と空気力学的な関係、群落抵抗（葉の気孔のパラメータ）から日平均の実蒸発散量を算出する。 ・土地利用別のアルベド、熱流量係数、LAI 等を設定する。
長所	・多様な気象データを必要としないので、データの不十分な地域で適用できる。	・時間変化や種々の土地利用下での詳細な蒸発散量を算定できる。	・時間変化や種々の土地利用下（植生）での詳細な蒸発散量を算定できる。
短所	・時間変化や種々の土地利用下での詳細な蒸発散量を算定できない。	・多様な気象データを必要とする。	・多様な気象データを必要とする。

1) 蒸発散算定方法（Penman-Monteith 法）の概要

気象観測値を用いて蒸発散量を算定する手法には、経験式から理論式まで、様々な算定式が存在する。実用的に用いられているものに、理論式となる Hamon 法、Penman 法や、経験式となる Thornthwaite 法などがある。これらの手法はいずれも可能蒸発散量を求める式であり、実際の蒸発散量はこの可能蒸発散量に補正係数（蒸発散比）を乗じて算出する。本検討では、下記の理由から Penman-Monteith 法を用いて実蒸発散量を推定した。

①Penman-Monteith 法は熱収支法と空気力学法をあわせた方法である。平均気温、相対湿度、風速、日射率等の気象データを用いて、日単位の実蒸発散量が算定できる。

→Hamon 法、Thornthwaite 法等は月単位の蒸発散量（可能蒸発散量）のみ算定

②Penman-Monteith 法は、既往研究で得られた係数を適用することにより、土地利用毎の実蒸発散量を推定できる。

→Hamon 法、Thornthwaite 法等については、土地利用毎の補正係数が十分に研究されていない。

③欧米における蒸発散量の算定法として、主に Penman 法、Penman-Monteith 法が適用されている。

メッシュ内の蒸発散は、植生樹冠の濡れた葉面（降雨遮断）、裸地（土壌、都市地表面）等からの蒸発、及び植生樹冠の乾いた葉面からの蒸散を評価した。蒸散量の算定にはPenman-Monteithの式を用いた。

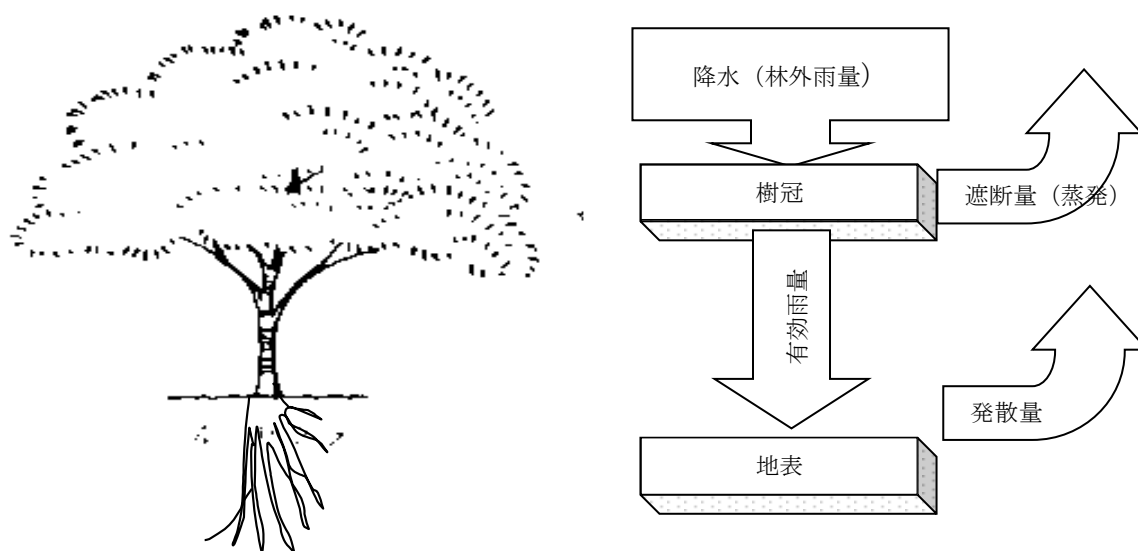


図 3.2.12 森林における雨水流出・蒸発機構の模式図

2) 放射収支

① 波放射

$$Q_a^* = S \left(\frac{\bar{d}}{d} \right)^2 \cos Z \quad \text{-----} \quad (3.2.1)$$

$$\cos Z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega$$

ここに

- Q_a^* : 大気外太陽放射量 (瞬間値) (Angot値)
 S : 太陽定数(1370W/m²)
 $\bar{d}$: 太陽から地球までの距離の平均
 d : 太陽からの地球までの距離 (瞬間値)
 ϕ : 緯度
 δ : 赤緯
 ω : 時角
 Z : 太陽高度 (日射方向の地平に対する仰角)

一日の太陽放射量は Q_a^* を日の出から日没まで積分することにより得られる。

$$Q_a = \frac{1}{\pi} S \left(\frac{\bar{d}}{d} \right)^2 (\omega_o \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \omega_o) \quad \text{-----} \quad (3.2.2)$$

ここに、 Q_a : 一日の大気外放射量(W/m²)

$$\cos \omega_o = -\tan \phi \tan \delta$$

本調査では次の近似をする。

$$\frac{\bar{d}}{d} \div 1.0$$

$$\delta = \sin^{-1} \left[\sin \delta_o \sin \left\{ (t - 81) \frac{2\pi}{365} \right\} \right] \quad \text{-----} \quad (3.2.3)$$

ここに、 t : 1月1日からの累加日数

$$\delta_o : \text{最大赤緯} \left(= \pi \frac{23.5}{180} \right)$$

② 表面の放射量収支

$$R_n = (1 - \alpha)Q - I = (1 - \alpha)Q_a(a + bs) - \sigma T_z^4(a' - b'\sqrt{e_a})(a'' + b''s) \quad \text{----- (3.2.4)}$$

R_n : 純放射量収支(W/m²)

α : アルベド (地表面の状態、季節により変化させる)

Q : 短波放射量

I : 地表から放射される長波放射量

S : 日照率

σ : Stefan-Boltzman定数 ($5.6705 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$)

T_z : 地表面の絶対温度 (=273.15 + C_o 。 C_o は温度 (°C))

e_a : 地表面の水蒸気圧 (pa)

a, b, a', b', a'', b'' : 経験的に決まる定数

表 3.2.5 土地利用分類項目別のアルベド (%)

土地利用 分類項目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
森林 (常緑樹)	9.0	10.0	10.0	10.0	11.0	12.0	12.0	12.0	12.0	11.0	11.0	10.0
森林 (落緑樹)	10.0	10.0	10.0	10.0	13.0	15.0	15.0	15.0	15.0	14.0	13.0	10.0
水田	16.0	15.0	10.0	8.0	8.0	10.0	13.0	22.0	18.0	15.0	15.0	15.0
畑	18.7	18.7	18.7	19.0	19.0	19.3	20.0	20.0	19.7	19.0	19.0	18.7
市街地	29.0	29.0	27.5	27.5	26.0	25.0	26.5	27.5	27.5	27.5	27.5	28.5
その他	20.7	20.3	19.0	18.3	17.0	16.3	17.0	17.7	18.0	18.3	19.7	21.0
水面	10.0	9.0	8.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	7.0	8.0	10.0	11.0

古藤田の研究から引用

3) 緑被面からの蒸発散量 (Penman-Monteith)

①基礎式

$$E_{pt} = \frac{R_{nt}\Delta + \rho C_p(e_{sa} - e_a)/r_E}{L(\Delta + \gamma(r_E + r_c)/r_E)} \quad \text{----- (3.2.5)}$$

E_{pt} : 実蒸散量(kg/m²/s)
 R_{nt} : 正味放射量(W/m²)
 ρ : 空気の密度(kg/m³)
 C_p : 定圧比熱 (1005J/kg/K)
 e_{sa} : 飽和水蒸気圧 (Pa)
 e_a : 実蒸気圧 (Pa)
 L : 水の気化熱 (蒸発潜熱) (J/kg)
 Δ : 飽和水蒸気圧の温度勾配(Pa/K)
 γ : 乾湿計定数(Pa/K)
 r_E : 境界層の空気力学的抵抗(s/m)
 r_c : 群落抵抗(s/m)

②各項の内容

a) 高度 z の気温 (T_z)

$$T_z = T_0 - 0.0065 Z \quad (\text{気温減率} 0.65^\circ\text{C}/100\text{m}) \quad \text{----- (3.2.6)}$$

T_z : 高度 Z の気温
 T_0 : 平均海面の気温
 Z : 高度(m)

b) 高度 Z の気圧 (P_z)

$$P_z = P_b \exp\left(-\frac{gz}{R_d T_{zm}}\right) \quad \text{----- (3.2.33)}$$

P_z : 高度 Z の気圧(Pa)
 P_b : 平均海面の気圧(101325Pa)
 g : 重力加速度 (=9.8m/s²)
 Z : 高度(m)
 R_d : 乾燥空気の気体定数 (=287J/kg/K)
 T_{zm} : 海面と高度 Z の平均気温(K)

c) 飽和水蒸気圧 (e_{sa})

Tetensの実験式

$$e_{sa} = 611 \times 10^{aT/(b+T)} \quad (\text{水面上}) \quad \text{-----} (3.2.7)$$

ここに、 e_{sa} : 飽和水蒸気圧(Pa)

T : 気温 (°C) (= $T - 273.15$)

a, b : 定数 ($a = 7.5$ $b = 237.3$)

d) 相対湿度

$$R_h = \min\left(\frac{e_a}{e_{sa}} \times 100, 100\right) \quad \text{-----} (3.2.8)$$

ここに、 R_h : 相対湿度 (%) e_a は観測地点の水蒸気圧

e_{sa} はメッシュ標高における飽和水蒸気圧

e) 湿潤空気の密度 (ρ)

$$\rho = \frac{P_z}{T_z \cdot R_m} \quad \text{-----} (3.2.9)$$

ρ : 湿潤空気の密度 (kg/m^3)

P_t : 気圧(Pa)

T_z : 絶対温度(K)

R_m : 湿潤空気の気体定数(J/kg/K)

$$R_m = R_d(1 + 0.608q) \quad \text{-----} (3.2.10)$$

$$q = 0.622 \frac{e_a}{P_z} \quad \text{-----} (3.2.11)$$

R_d : 乾燥空気の気体定数 (= 287.04 J/kg/K)

q : 比湿

e_a : 水蒸気圧 (Pa)

p_z : 空気圧(Pa)

f) 水の気化熱 (L)

$$L = (594.9 - 0.51T_c) \text{ cal/g} = 5.573 \times 10^6 - 2.135 \times 10^3 T \quad \text{-----} (3.2.12)$$

L : 水の気化熱(J/kg)

T : 温度 (K) T_c : 温度(°C)

g) 飽和水蒸気圧の勾配（ Δ ）（Clausius-Clapeyronの式）

$$\Delta = \frac{de_{sa}}{dT} = e_{sa} \frac{L}{R_v T^2} \quad \text{-----} (3.2.13)$$

R_v : 水蒸気の気体定数（=461.5J/kg/K）

Δ : 飽和水蒸気圧の勾配（Pa/K）

h) 乾湿計定数（ γ ）

$$\gamma = \frac{C_p P_z}{0.622 L} \quad \text{-----} (3.2.14)$$

γ : 乾湿計定数

P_z : 気圧(Pa)

i) 境界層の空気力学抵抗（ r_E ）

$$r_E = \frac{\left(\ln \frac{h-d}{z_0} \right)^2}{\kappa^2 V} \quad \text{-----} (3.2.15)$$

ここに、 r_E : 境界層の空気力学抵抗(s/m)

h : 幾何学的粗度高(=hp)

d : 針葉樹で0.61～0.92 平均0.78hp 畑地で0.7h

z_0 : 定数($z_0=0.13hp$)

κ : カルマン定数（=0.4）

V : 風速(m/day)

h, d は森林水文学 塚本良則編 文永堂出版より設定

hp、d、 z_0 は次のとおりに設定する。

表3.2.6 土地利用、土壌別定数

土地利用	土 壌	H(m)	d(m)	z_0 (m)
森 林	岩土、岩屑土壌	12.0	=0.78h	=0.13h
	黒ボク土壌	12.0	=0.78h	=0.13h
	乾性褐色森林土壌	10.0	=0.78h	=0.13h
	褐色森林土壌	18.0	=0.78h	=0.13h
	湿性褐色森林土壌	12.0	=0.78h	=0.13h
	ポドゾル土壌	12.0	=0.78h	=0.13h
裸 地		1.0	=0.7h	=0.13h
草 地		1.0	=0.7h	=0.13h
畑 地		0.5	=0.78h	=0.13h
宅 地		3.0	=0.78h	=0.13h

j) 群落抵抗 (r_c)

Noilhan & Planton モデルで使用されている式を用いる (N-P 抵抗モデル)

$$r_c = \frac{4R_{s\min} \cdot F_1}{LAI \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4^4} \quad \text{-----} (3.2.16)$$

$R_{s\min}$: 表面抵抗の最小値(s/m)

F_1 : 抵抗に関する係数

F_2 : 土壌水分に関する係数

F_3 : 水蒸気圧に関する係数

F_4 : 気温に関する係数

$$F_1 = \frac{1+f}{\left(f + \frac{R_{s\min}}{R_{s\max}}\right)} \quad \text{-----} (3.2.17)$$

$$f = 0.55 \frac{R_g}{R_{gl}} \frac{2}{LAI} \quad \text{-----} (3.2.18)$$

$$F_2 = \begin{cases} 1 & \text{if } W_2 > W_{cr} \\ \frac{W_2 - W_{wilt}}{W_{cr} - W_{wilt}} & \text{if } W_{wilt} \leq W_2 \leq W_{cr} \\ 0 & \text{if } W_2 < W_{wilt} \end{cases} \quad \text{-----} (3.2.19)$$

$$F_3 = 1 - g(e_{sa} - e) \quad \text{-----} (3.2.20)$$

$$F_4 = 1.0 - 0.0016(298 - T)^2 \quad \text{-----} (3.2.21)$$

r_s : 表面抵抗(s/m)

$r_{s\min}$: 最小表面抵抗(概略50s/m)

$r_{s\max}$: 最大表面抵抗 (概略1500s/m)

LAI : 葉面積指数

R_g : 放射量(w/m²)

R_{gl} : 限界放射量 (森林で30w/m², 畑地で100w/m²)

W_2 : 土壌水分量(m³/m³)

W_{wilt} : しおれ点水分量(m³/m³)

W_{cr} : 限界水分量 (=0.75 W_{sat} m³/m³)

W_{sa} : 飽和水分量(m³/m³)

g : 定数(0.00025/Pa)

e_{sa} : 飽和水蒸気圧 (Pa)

e_a : 実水蒸気圧 (Pa)

T_a : 気温 (K)

4) 緑被面以外からの蒸発量

Penman-Monteith で $r_e=0$ とする。裸地面からの蒸発は下記の式を用いる

$$E_{pt} = E_{pt}' \cdot F_2 \quad \text{-----}(3.2.22)$$

$$E_{pt}' = \frac{R_{nt}\Delta + \rho C_p(e_{sa} - e_a)/r_E}{L(\Delta + \gamma)} \quad \text{-----}(3.2.23)$$

$$F_2 = \begin{cases} 1 & \text{if } W > W_{cr} \\ \frac{W - W_{wilt}}{W_{cr} - W_{wilt}} & \text{if } W_{wilt} \leq W \leq W_{cr} \\ 0 & \text{if } W < W_{wilt} \end{cases} \quad \text{-----}(3.2.24)$$

ここに W : 土壌水分量 W_{cr} : 飽和水分量 W_{wilt} : 最小水分量

5) 緑被面の樹冠からの蒸発量と可能蒸発散量

Penmanの可能蒸発散式を用いる。

$$E_p = \frac{\frac{\Delta R_n}{L} + \gamma f(u)(e_{sa} - e_a)}{\Delta + \gamma} \quad \text{-----}(3.2.25)$$

E_p : 可能蒸発散量(kg/m²/s)

Δ : 飽和水蒸気圧の勾配(Pa/K)

R_n : 正味放射量(W/m²)

γ : 乾湿計定数(Pa/K)

$f(u)$: 風速関数

e_{sa} : 飽和水蒸気圧(Pa)

e_a : 実水蒸気圧(Pa)

$$f(u) = 0.0026(1 + 0.537u)/86400$$

$f(u)$: 風速関数(mm/day/Pa)

u : 地表面から高さ2mの風速(m/s)

水蒸気圧の単位がPaで蒸発量の単位がkg/m²/secの場合の式

6) 水面からの蒸発

Penmanの可能蒸発散式を用いた。アルベトは水の場合を用いた。

7) 樹冠遮断

降水が樹冠（樹木の梢にあって枝や茂っている葉の部分）等に捉えられると、これらの表面から蒸発して、地面に到達しない(遮断される)。この樹冠遮断量は次式により算定した。

$$\frac{dC}{dt} = R - E_{ca} - R_e \quad C \leq C_{\max} \quad \text{----- (3.2.26)}$$

C : 樹冠遮断量(m)

R : 降雨量(m/s)

E_{ca} : 樹冠からの蒸発量

$C_{\max}$: 最大遮断(mm) (=0.15×LAI)

R_e : 地表到達雨量

$$R - E_c \leq 0 \text{ のとき } R_e = 0 \text{ and } E_c \geq E_{ca}$$

$$R - E_c > 0 \text{ のとき } E_{ca} = 0$$

$$E_c = \frac{R_{nt}\Delta + \rho C_p (e_{sa} - e_a) / r_E}{L(\Delta + \gamma)}$$

(2) 蒸発散量の算出

近年 20 ヲ年（2004～2023 年）を対象に Penman-Monteith 法を用いて算定した蒸発散量の経年変化を図 3.2.13 に、月別変化図を図 3.2.14 に、蒸発散量算定結果を表 3.2.7 に示す。

Penman-Monteith 法を用いて算定した蒸発散量約 1,217mm/年（2004 年～2023 年の平均）は、補完法による年蒸発散量の推定結果 1,000 mm/年超（図 3.2.15）と比較して妥当な値と考えられる。

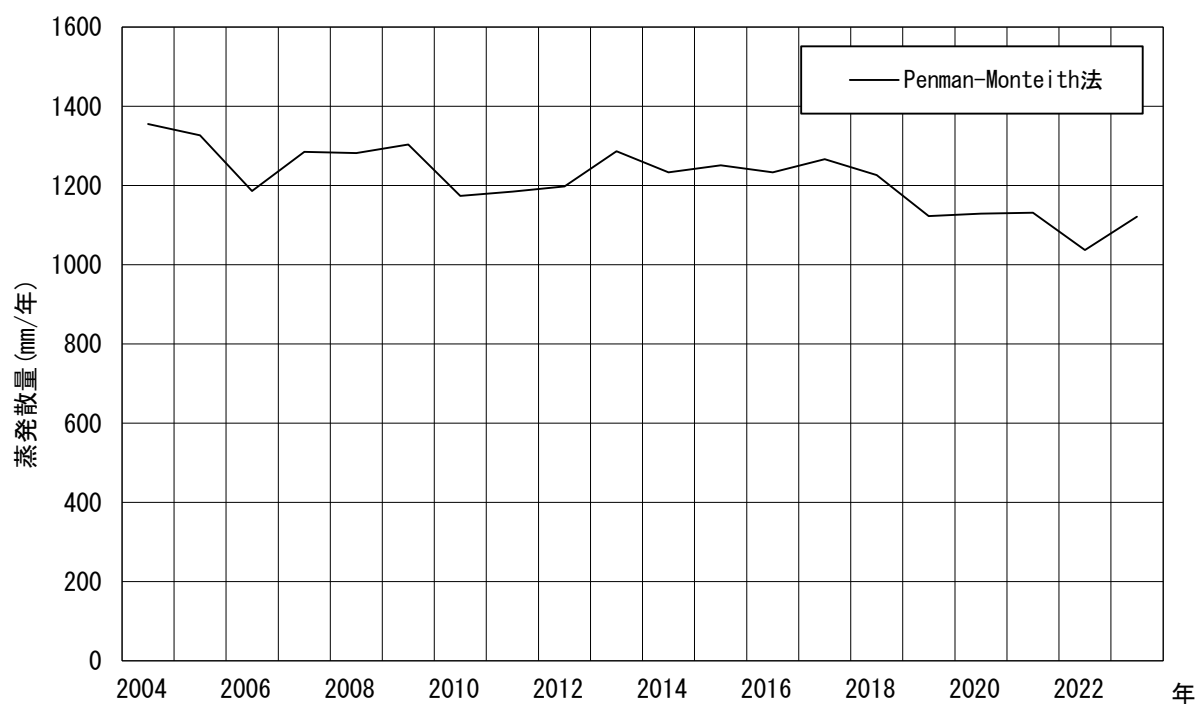


図 3.2.13 蒸発散量の経年変化図

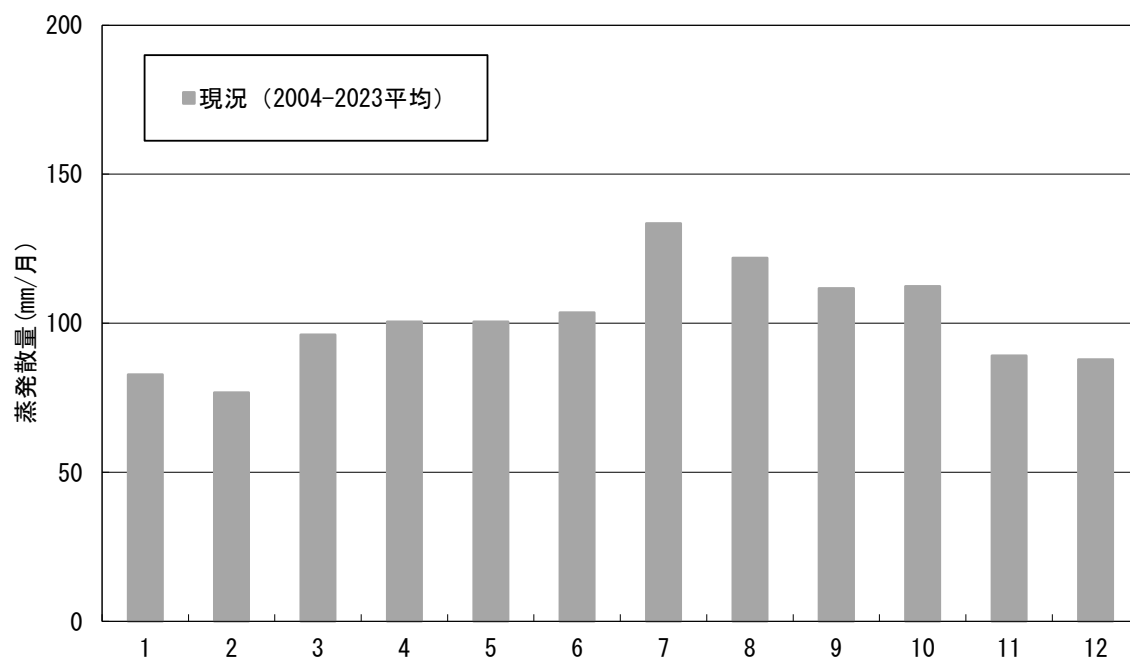
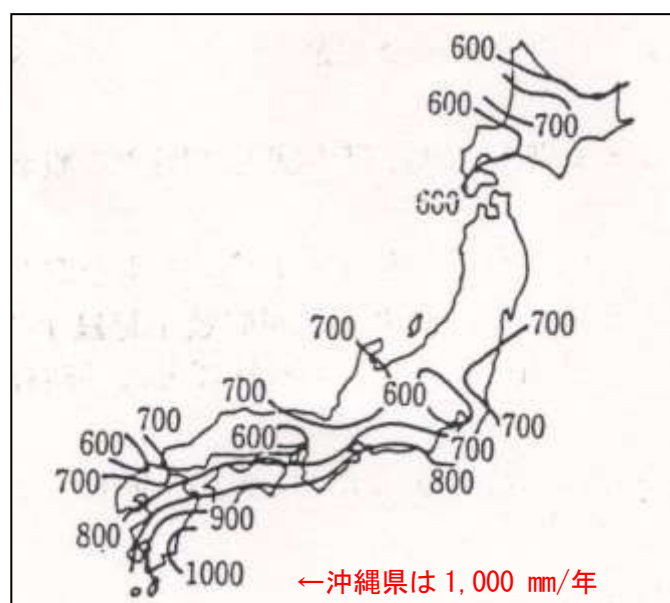


図 3.2.14 蒸発散量の月別変化図

表3.2.7 蒸発散量算定結果

(単位: mm)

元号	西暦	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
H16	2004	86.0	91.7	99.2	105.7	111.9	122.0	134.7	143.3	114.3	142.0	103.0	101.5	1355.3
H17	2005	90.8	70.1	108.2	106.6	103.8	109.2	152.1	132.1	126.7	122.7	98.5	106.1	1326.9
H18	2006	76.1	72.4	98.8	92.2	91.1	95.2	141.6	118.3	105.9	117.8	81.8	95.0	1186.2
H19	2007	80.3	82.4	90.5	103.7	108.9	107.9	145.5	127.1	114.2	131.7	102.1	91.3	1285.6
H20	2008	76.8	89.9	106.0	105.4	115.4	114.0	149.6	136.2	109.1	106.8	83.6	89.5	1282.3
H21	2009	94.4	74.0	84.6	111.9	128.6	106.2	141.3	131.7	141.9	105.4	95.0	89.0	1304.0
H22	2010	80.0	64.1	102.6	93.0	98.6	102.2	117.6	120.1	112.5	101.1	92.7	89.3	1173.8
H23	2011	86.7	69.9	104.5	111.5	77.7	115.2	128.4	116.7	123.2	87.5	80.0	83.8	1185.1
H24	2012	75.1	69.8	99.2	95.8	107.3	94.5	136.9	113.3	109.8	116.8	84.1	95.4	1198.0
H25	2013	86.8	74.8	95.2	93.6	89.2	125.6	152.3	134.4	130.2	124.0	91.0	89.6	1286.7
H26	2014	93.6	75.6	98.3	104.0	92.0	95.7	136.8	105.8	114.4	123.7	95.8	98.1	1233.8
H27	2015	95.0	78.9	95.6	93.8	98.7	126.0	135.2	119.2	116.9	115.1	88.6	88.0	1251.0
H28	2016	76.9	90.1	92.2	87.1	100.8	114.3	143.7	129.7	106.6	95.7	95.2	101.5	1233.8
H29	2017	86.9	86.7	99.0	105.9	99.5	91.1	138.7	140.7	116.3	119.4	88.3	94.6	1267.1
H30	2018	85.4	83.9	111.2	106.5	124.1	111.5	120.7	114.7	107.4	100.0	86.5	74.5	1226.4
R1	2019	79.6	59.2	102.2	90.1	111.9	78.4	112.3	114.4	102.0	106.2	92.6	74.5	1123.4
R2	2020	81.4	84.8	85.2	98.9	83.8	107.0	118.5	114.2	88.9	113.3	89.0	64.3	1129.3
R3	2021	75.6	74.2	86.7	108.8	94.1	79.9	114.2	110.9	103.6	109.5	88.3	86.0	1131.8
R4	2022	67.0	64.9	80.8	94.4	68.9	85.5	119.1	117.3	95.9	104.8	59.1	79.5	1037.2
R5	2023	81.1	78.2	83.6	101.1	103.9	90.4	131.8	99.1	95.6	103.9	86.8	65.9	1121.4
平均		82.8	76.8	96.2	100.5	100.5	103.6	133.6	122.0	111.8	112.4	89.1	87.9	1217.0



出典：農業ハンドブック

図 3.2.15 補完法による年蒸発散量の推定結果（昭和 26 年～昭和 55 年の平均）

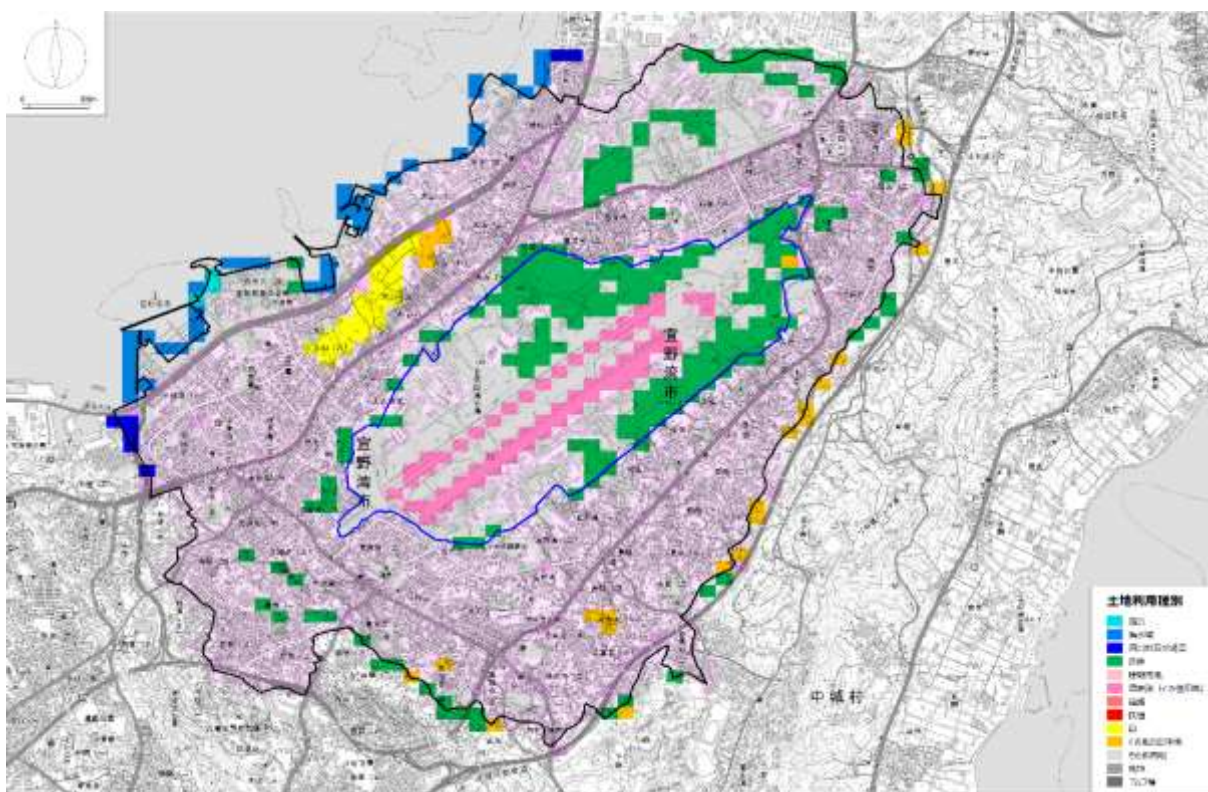


図 3.2.16 土地利用分類図（現況）

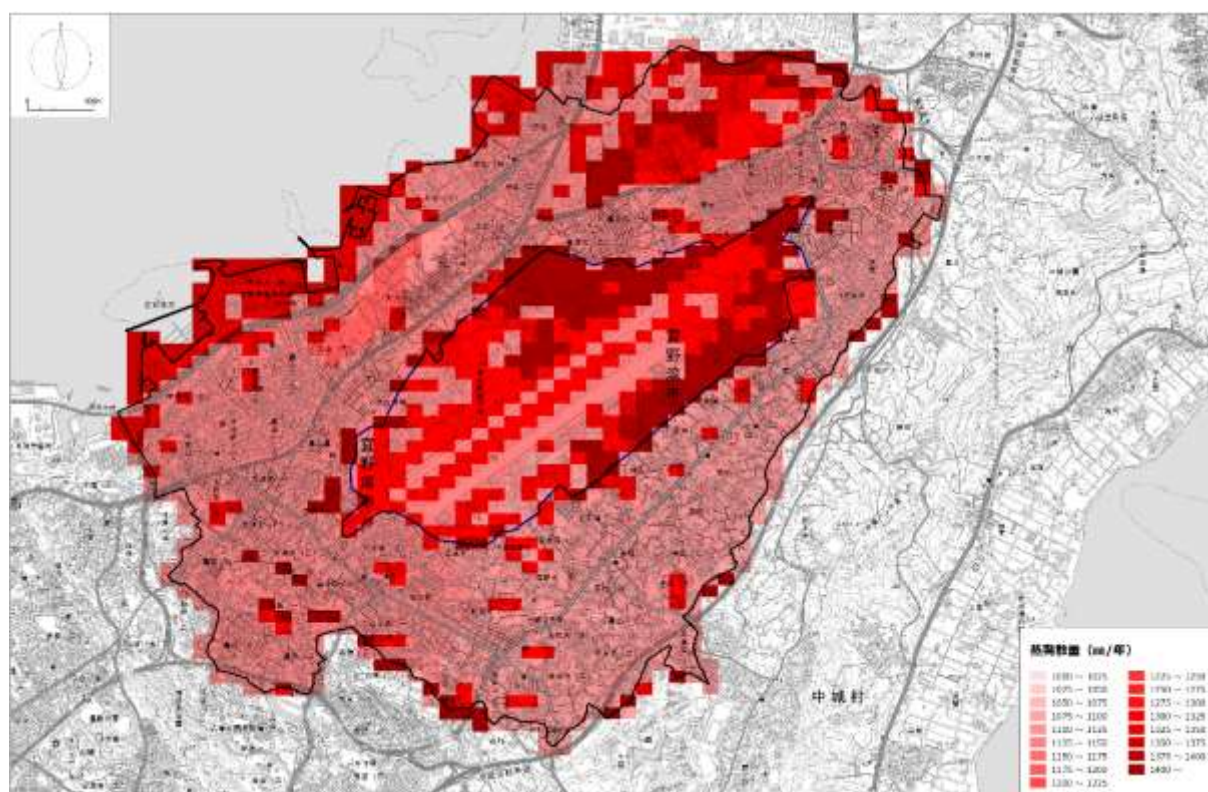


図 3.2.17 蒸発散量の分布図（2004～2023 年の平均）