

先行降雨指数と畑地内サクシヨンの関係

加治佐 隆 光
三重大学生物資源学部

Relation between Antecedent Precipitation Index and Soil Suction in a Field

Takamitsu KAJISA
Faculty of Bioresources, Mie University

Abstract

The relationship of the Antecedent Precipitation Index (Hereafter, abbreviated as API) to soil suction, outlet discharge and height of a sargo are discussed. As API is the sum of weighted data of daily precipitation, this value is obtained for every field on every day.

The relation between API and soil suction was determined. The following experimental equation based on least squares method was derived.

$$pF = a \cdot \log(\text{API}) + b \quad (\text{A})$$

a: constant parameter which is minus, b: constant parameter.

The effect of heat on this equation is not known and Eq.(A) should be used under almost the same thermal conditions for obtaining hydrological data using API.

Based on Eq.(A), API_{dry} was defined for pF 1.5 and API_{wet} was defined for pF 3.5 in this paper. For better vegetable quality, small API_{dry} and big API_{wet} are essential.

Eq. (B) was derived for obtaining the mean value of API for confirming long-term regional condition of wetness.

$$\overline{\text{API}} = c \cdot \overline{R} \quad (\text{B})$$

$\overline{\text{API}}$: mean value for long term API (mm), \overline{R} : mean value of daily precipitation (mm/day). As the sum value of daily precipitation is shown in a meteorological report, \overline{R} is easily obtained. c: constant parameter which was 5.45 in this study.

Eqs. (A) and (B) are quite practical for irrigation, drainage and outlet discharge analysis.

I. はじめに

先行降雨指数 (Antecedent Precipitation Index, 以下, API)¹⁾ は, 日降雨量から求まる指標である。洪水流出解析では, 降雨出水以前の土壌の乾湿状況などを評価する

指標として用いられている。洪水の初期流量との直線的な関係が確認されており, 両者ともに有効な指標となっている¹⁾。

この API は畑地流域内の乾湿状況を評価する際にも算定できる。しかし, 狭い畑地流域では, 後述の Fig. 3

に示したように降雨終了数日後に流出量はゼロとなる。したがって、API と洪水の初期流量との関係については検討できない。

畑地土壌の乾湿状況を表す値として、流出量是用いられていない。むしろ灌漑排水の目的上、サクシオン（以下、 ϕ ）が用いられている。

したがって、API と ϕ との関係を確認しておくことは、畑地からの流出解析を行う目的、あるいは灌漑排水の目的では、重要な事例報告のひとつになると考える。

II. API の定義式と指標となる ϕ の大きさ

本論での API の定義式を以下に示す。

$$API = R_0 + \sum_{i=1}^n \alpha^i R_i \quad (1)$$

API: 先行降雨指数 (mm), n: 日数 (days), α : 係数, R_0 : 当日の午前中の雨量 (mm/12 hrs.) 後述IVのように ϕ の測定時間がほぼ10~15時であるので、0~12時までの雨量とした。 R_i : i 日以前の日降雨量 (mm/day), n と α の数値を決定するための規則は特でない。ここでは、文献²⁾に同じく、n を20とし、 α を0.85とした。

一方、土壌水分のうちで作物の成長に有効に利用できる ϕ は pF 表示で1.5から (3.5~3.8) までとされている³⁾。

$$pF_{wet} < (\text{作物の成長に有効な } pF) < pF_{dry} \quad (2)$$

ϕ : サクシオン (cmH₂O), pF: log ϕ , pF_{wet}: 土壌が作物にとって過湿となる pF で1.5である。pF_{dry}: 土壌が作物にとって乾燥してしまう pF で安全上3.5とした。なお、本論中、log は常用対数を示す。

III. 畑地流域の概況

API と ϕ を観測した畑地圃場は三重大学附属農場内に造成された砂壤土の階段畑である。地区概況を Fig. 1 に示す。

図中、上段の階段畑は面積約 6514 m² であり主に茶畑である。図中の点線のうち11本は暗渠管である。左の6本がビニールシート管で支配面積は約 1600 m² (約 25%) 程度である。右の5本がレキ管で支配面積は同程度である。そのさらに右側には開渠が2本ある。

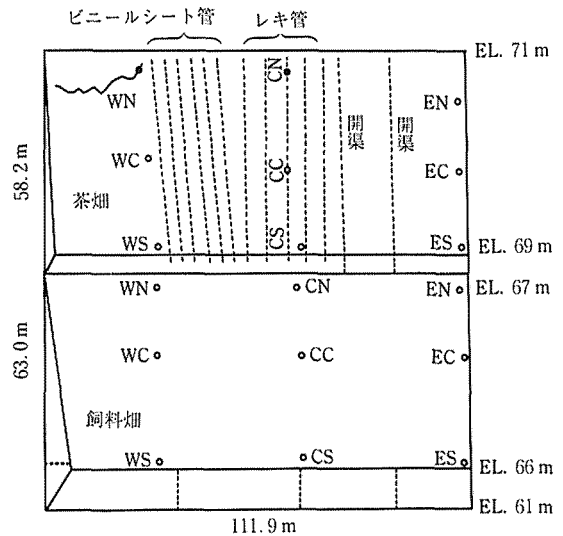


Fig. 1 流域の概況図

下段の階段畑は面積約 7055 m² で春から夏にかけてソルゴー、夏から秋にかけてエンバクが植えられている。いずれの階段畑も地表面下 20~30 cm が耕土である。その下層は灰色の粘土もあって堅い不透水層となっている部分が多い。

ϕ を測定した箇所は Fig. 1 中の丸印であるが、区別できるようにアルファベットの2文字を付してある。これら合計18箇所での観測を行った。

なお参考のために、 ϕ 測定の高さよりも浅く測定日も混在しているが、1989年に測定した各測定箇所における土壌の三相分布を API とともに Table 1 に示す。

IV. 測定方法

流域内の耕土層は上記のように薄いので、 ϕ 測定の高さは 30 cm とした。

使用機器としては、茶畑と飼料畑の CS にダイキの真空計式自記テンシオメータ DIK-3202 (ϕ の測定範囲が 0~800 cm H₂O = pF 2.9)、および上記18箇所のそれぞれに、ダイキの真空計式テンシオメータ DIK-8320 (ϕ の測定範囲が 0~700 cm H₂O = pF 2.8) を用いた。これらの機器で、測定した pF と pF_{wet} の比較などが可能である。

各箇所における ϕ 測定については1989年4月から同

Table 1(a) 茶畑の三相分布 (体積百分率)

WN: 4月11日 (13.5 cm) A 16.5% L 30.4% S 53.1% API は 54.6 mm	CN: 2月6日 (25.0 cm) A 03.6% L 38.4% S 58.0% API は 9.6 mm	EN: 4月11日 (17.5 cm) A 05.8% L 41.9% S 52.3% API は 54.6 mm
WC: 4月11日 (15.5 cm) A 24.6% L 29.2% S 46.2% API は 54.6 mm	CC: 4月11日 (14.5 cm) A 11.7% L 38.3% S 50.0% API は 54.6 mm	EC: 4月12日 (13.5 cm) A 18.0% L 32.6% S 49.4% API は 46.4 mm
WS: 4月11日 (18.5 cm) A 15.2% L 36.9% S 47.9% API は 54.6 mm	CS: 2月6日 (12.5 cm) A 17.0% L 33.2% S 49.8% API は 9.6 mm	ES: 4月12日 (欠測) A 25.2% L 30.7% S 44.1% API は 46.4 mm

カッコ：採土の深さ (cm), A: 気相, L: 液相, S: 固相, 月日: 採土日 (いずれも1989年)

Table 1(b) 飼料畑の三相分布 (体積百分率)

WN: 4月17日 (15.0 cm) A 32.0% L 22.9% S 45.1% API は 39.3 mm	CN: 2月6日 (15.0 cm) A 37.1% L 23.1% S 39.8% API は 9.6 mm	EN: 4月12日 (14.5 cm) A 22.4% L 30.9% S 46.7% API は 46.4 mm
WC: 4月17日 (20.5 cm) A 07.8% L 40.4% S 51.8% API は 39.3 mm	CC: 4月17日 (21.5 cm) A 13.9% L 36.3% S 49.8% API は 39.3 mm	EC: 4月12日 (15.5 cm) A 08.4% L 42.8% S 48.8% API は 46.4 mm
WS: 4月17日 (15.5 cm) A 17.3% L 39.7% S 43.0% API は 39.3 mm	CS: 2月6日 (19.0 cm) A 23.0% L 32.0% S 45.0% API は 9.6 mm	ES: 4月12日 (17.5 cm) A 18.6% L 31.7% S 49.7% API は 46.4 mm

カッコ：採土の深さ (cm), A: 気相, L: 液相, S: 固相, 月日: 採土日 (いずれも1989年)

年10月までで58回の踏査を行った。そのうち4回を除く54回分については10時から15時までの間で踏査を行った。飼料畑では、7月3日から9月6日までの18回分はソルゴーからエンバクへの植えかえ作業のため欠測となっている。

V. 結 果

1. 時間および日変化に伴う API と ψ の変化
まず、Fig. 2 に ψ などの時間変化を示す。地温については附属農場の管理する観測用地にて測定した結果を

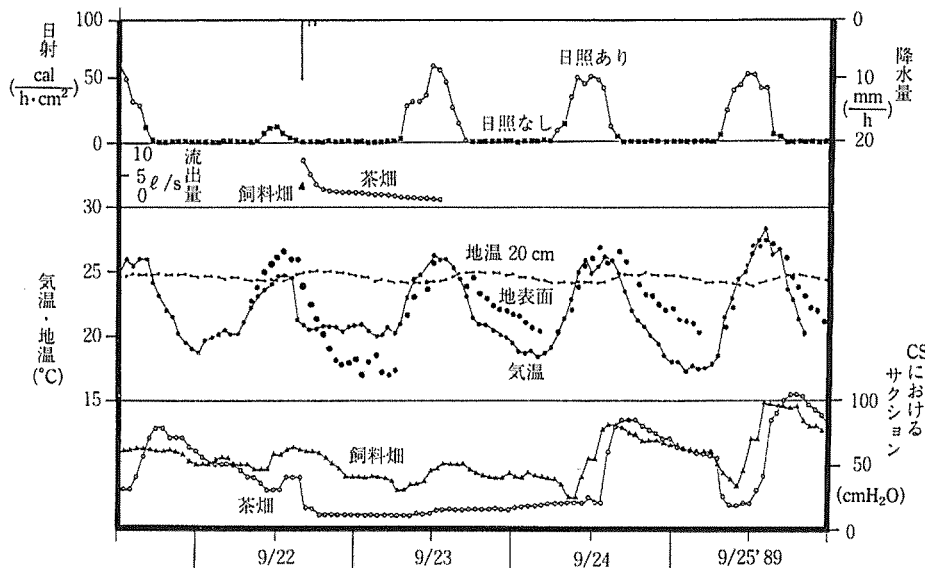


Fig. 2 サクシヨンとそれに関連する気象要因の時間変化

示す。 ϕ 自体は干天が続くと日周期での変動の生ずることが知られている⁴⁾。Fig.2でも日射・気温・地温と同じく日周期の変動が生じる。降雨終了後しばらくして、 ϕ が 20~30 cm H₂O 以上となった段階にて、振幅は 100 cm H₂O 程度であるが、日射・気温・地温の大きい正午近くで ϕ の極小値が生じる。

Fig. 3 と Table 2 に飼料畑における ϕ の日変化などを示す。5月11日と6月9日で同程度に約 100 mm/day の日降雨量があるものの、降雨前日の API がそれぞれ 44 mm, 8 mm と異なっているのにともない、降雨による流出量も約 50, 20 mm と差異が生じている。降雨前日の流出量はいずれもゼロであるので、流出初期の土壤の乾湿状況を流出量では評価できないものの、API では評価し得ることを確認できる。

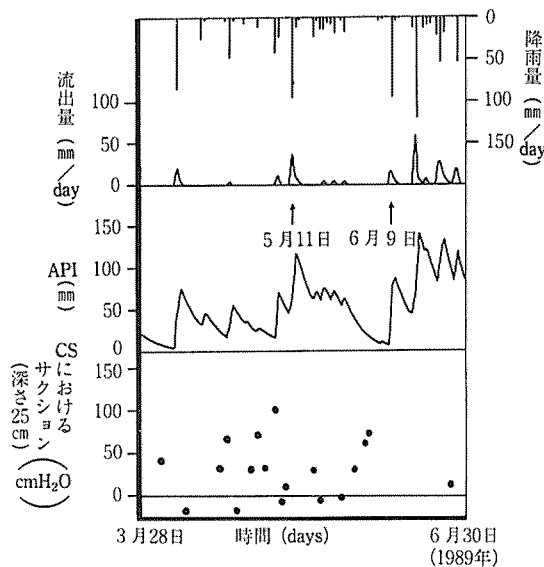


Fig. 3 ハイドロ・ハイトグラフ及び API とサクシヨンの日変化 (飼料畑)

2. 各測定箇所における API と ϕ の関係

測定した API と ϕ の関係を両対数紙上で Figs. 4 (a), (b) に示した。上記 1. の結果によると、観測時間は ϕ が小さい時間帯に相当する。これらの図では、全般的に API の増加に伴う ϕ の減少が見られる。また、API と ϕ の関係は近似的に以下の関係にあることを確認できる。すなわち、

$$pF = \log \phi = a \cdot \log (\text{API}) + b \quad (3)$$

である。

a, b: 係数である。最小二乗法で決定された数値は Fig. 4 の各図中に示した。

VI. 考 察

上述の(3)式で得られる API と pF の関係をもとに、土壤水分を管理する際の指標としての API の適用例を以下に示して考察とする。

1. 土壤が過湿・乾燥となる際の API

各測定箇所 pF が pF_{wet} となる際の API を求めておくことは、土壤水分を管理する上で有益に思える。この API を特に API_{wet} と表記する。すなわち(3)式から、

$$pF_{\text{wet}} = a \cdot \log (\text{API}_{\text{wet}}) + b \quad (4)$$

同様に、pF が pF_{dry} となる際の API を特に、API_{dry} と定義する。この API_{dry} は、ここでは IV に示した測定機器の都合上、(3)式中の係数 a, b が決定された後に外挿によってのみ推定できる。すなわち、(3)式から、

$$pF_{\text{dry}} = a \cdot \log (\text{API}_{\text{dry}}) + b \quad (5)$$

作物にとって好ましい土壤条件は、ここでは API_{dry} の小さいことと API_{wet} の大きいことである。Tables 3 (a), (b) に各測定箇所について得られた API_{dry} と API_{wet} を示す。この表中、API_{dry} については推定値であることを考慮してカッコを付してある。

Table 2 降雨前日の API の違いにともなう流出状況の差

降雨日 '89	当日の日降雨量	前日12:00 API 指数	下流端付近サクシヨン	前日の流出量	降雨日以降の流出量
5月11日	95.5 mm	43.7 mm	前々日14時 8 cm H ₂ O	0 mm/day	50.0 mm/3days
6月9日	95.0 mm	7.7 mm	前日11時 720 cm H ₂ O	0 mm/day	19.1 mm/2days

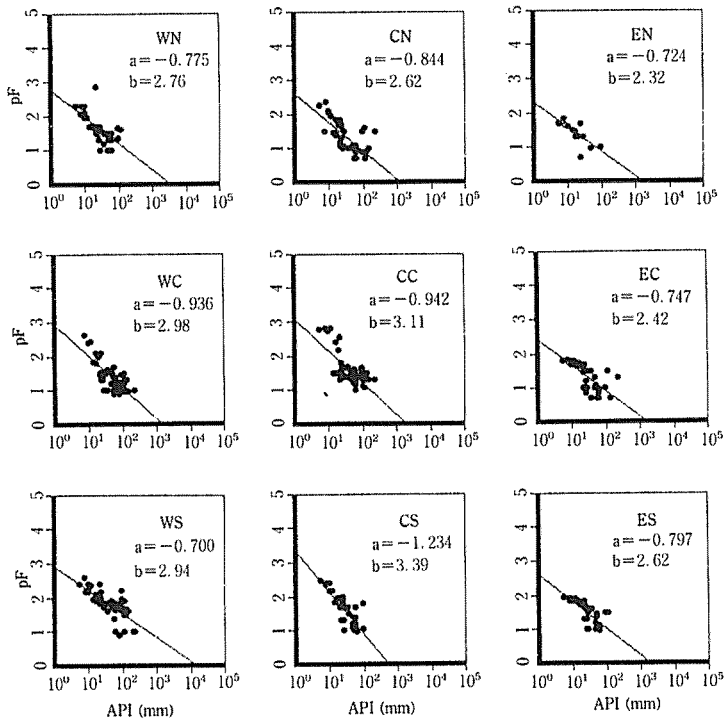


Fig. 4(a) 茶畑での API とサクシヨソ

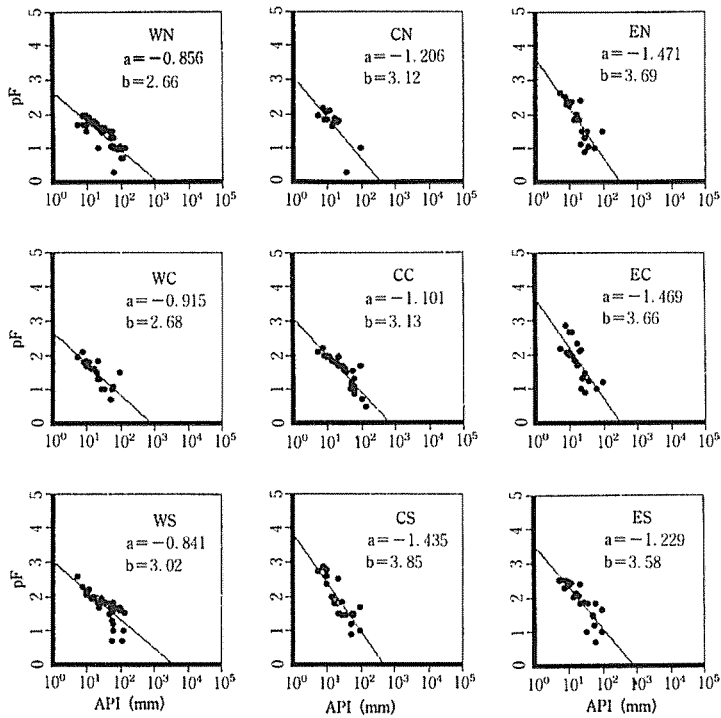


Fig. 4(b) 飼料畑での API とサクシヨソ

Table 3(a) 茶畑の API_{dry} と API_{wet}

WN: (0.11)~42	CN: (0.09)~21	EN: (0.02)~14
WC: (0.28)~38	CC: (0.38)~51	EC: (0.04)~17
WS: (0.16)~115	CS: (0.82)~34	ES: (0.08)~26

Table 3(b) 飼料畑の API_{dry} と API_{wet}

WN: (0.10)~23	CN: (0.49)~22	EN: (1.34)~31
WC: (0.13)~20	CC: (0.46)~30	EC: (1.29)~30
WS: (0.27)~64	CS: (1.76)~44	ES: (1.15)~49

2. API の平均値の簡便な算出法の提示

Table 3 に示した結果のままでは、作物にとっての通常のサクシヨンの過不足の状況が不明である。そこでここでは、数ヶ月に及ぶ長時間の API の平均値を \overline{API} と定義して、 API_{dry} 、 API_{wet} と比較することによって、通常でのサクシヨンの過不足を検討する。この \overline{API} は、日々の API を求めれば算出可能であるが、ここでは実用上の観点から、 \overline{API} の概略値が求まる近似式の誘導を示す。

まず、定義式を(6)、(7)に示す。

$$\overline{API} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m API_j \quad (6)$$

$$API_j = \sum_{i=1}^n \alpha^i R_{i+j} \quad (7)$$

m: 日数 (days), API_j : 平均化する期間の最終日の次日から j 日以前の API で、簡単のために(1)式中の R_0 は省いてある。

したがって、(6)、(7)式から \overline{API} は、

$$\begin{aligned} \overline{API} &= \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n \alpha^i R_{i+j} \right) \\ &= \sum_{i=1}^n \alpha^i \left(\frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m R_{i+j} \right) \end{aligned}$$

$n \ll m$ の場合、m 個の R_{i+j} についての平均値は、 R_j についての平均値 \overline{R} にほぼ等しいので、

$$\overline{API} \cong \sum_{i=1}^n \alpha^i \cdot \overline{R} \quad (8)$$

ただし、 \overline{R} : 日平均雨量 (mm/day) であり、

$$\overline{R} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m R_j$$

II に示した n, α の数値を適用すれば、

$$\left(\sum_{i=1}^n \alpha^i \right) = 5.45$$

である。

気象月報⁵⁾ に示されている津市1989年4月から10月までの各月雨量を日数で除して日平均雨量を求めれば、 \overline{R} として 8.0 mm/day を得る。したがって(7)式から、 \overline{API} は約 44 mm となる。

3. ソルゴの育成状況

上述の \overline{API} 約 44 mm は Table 3 中の API_{wet} に近い。根群域が ϕ 測定の深さ 30 cm に集中しているのかわからないが、過湿が主因となって、 ϕ の各測定箇所でもソルゴの高さに違いが生じていることを、まず考え得る。

作物の成長に関与する要因は土壌水分条件だけではないので、Table 3(b) の結果のみをソルゴの高さと比較するのは若干危険に思えるが、現段階での考察結果を以下に示す。

飼料畑の1989年10月20日におけるソルゴの高さを Table 4 に示し、Table 3(b) に示されている結果と比較する。WS の箇所は、 API_{wet} が最大であり最も好ましいとされる箇所であるが、同時にソルゴの最も高く成長している箇所となっている。

Table 4 ソルゴの高さ (1989.10.20)

WN: 1.0 m	CN: 1.0 m	EN: 0.8 m
WC: 1.4 m	CC: 1.4 m	EC: 1.4 m
WS: 1.6 m	CS: 1.4 m	ES: 1.2 m

Ⅶ. ま と め

前述の VI. 3. にも示したように、この畑地流域では特性値として、 \overline{API} 、 API_{wet} のおよそ 40 mm が重要な数値である。これらを Table 1, 2 に示されている API と比較すれば、水分状況、流出状況などの観察例がそれぞれ代表的なものであるかどうかを判断できる。このような判断のできることも、畑地流域で観測日の API を求めることの利点のひとつと考えられる。

ところで、 ϕ は同じ水分率でも温度によって変化することが知られている。(3)式中の a, b を定数として扱う場合、熱の与える影響は統計的にノイズとして扱われる。したがって、同程度の温度条件下でのみ、同じ a, b

を適用できることを承知しておく必要がある。

以上の結果を以下にまとめる。

- API と ψ の関係について、関連性のあることを実測を通して確認した。また、経験式として、(3)式を示した。
- (3)式にもとづき、作物の成長に関連する指標として API_{dry} , API_{wet} を提示し、応用を試みた。
- 長期にわたる API の平均値 \overline{API} を簡便に求め得る近似式として(8)式を提示した。
- API で評価される土壤の乾湿状況と、流出状況および作物の成長などの関連性を観測例を通して検討した。
- 畑地流域について観測日の API を求めることによって、他日に測定した流出状況と土壤水分など別個の測定値をより効率的に評価し得ることを示した。
- ψ に与える熱の影響まで含めて考察していないので、現在、同程度の温度条件下でのみ、(3)式の適用が考えられる。

Ⅷ. おわりに

附属農場の方々には、現地観測に際してしばしば協力を得た。特に、日照・日射・気温・地温などの資料提供は附属農場の方々のご好意による。サクシヨン測定については、専攻生（現在、三重県庁）の佐川尚君に協力を得た。記して謝意を表す。

引用文献

- 1) たとえば、岩井重久，石黒政儀：応用水文統計学，森北出版，pp. 326-343 (1977)
- 2) たとえば，田中丸治哉：流域土湿指標に関する一考察，農土学会京都支部研究発表会講演要旨，pp. 63-64 (1985)
- 3) たとえば，石橋，田辺，内藤，林：かんがい，コロナ社，pp. 44-45 (1976)
- 4) A. D. Voronin, Ye. Shein and I. I. Gudima: Diurnal variations of soil-moisture tension, Pochvovedeniye, No. 6, pp. 66-74 (1985)
- 5) 気象月報：津気象台 (1979)