

美鈴湖におけるヒキガエル (*Bufo bufo formosus*) の
産卵行動に関する研究 I
産卵出動開始の時期に及ぼす地温の影響

青柳正彦*・Bufo 研究会**・宇和 紘

信州大学理学部生物学教室
(1977年2月19日受理)

Studies on the Breeding Behavior of the Toad, *Bufo bufo*
formosus, at Lake Misuzu, I.
Effect of Underground Temperature on the Spring Emergence.

MASAHIKO AOYAGI*, BUFO RESEARCH GROUP**
AND HIROSHI UWA

(Department of Biology, Faculty of Science, Shinshu University,
Matsumoto 390, Japan)

ABSTRACT

Effects of temperatures and precipitation on the spring emergence of the toad, *Bufo bufo formosus*, were observed at Lake Misuzu, 1.7 km in circumference and 1000 m above sea level, near Matsumoto City. Toads breed immediately after their emergence which occurs throughout the period from late April into early May. There are three main breeding spots in the lake. Air, soil and water temperatures around breeding spot B, called B-region, where the toads seem to hibernate, were measured from late March to early May in the years 1974-1976. It was found that the initiation of the emergence was influenced by the underground temperature: over an observation period of three years, the emergence occurred when the soil temperature at a depth of 20 cm rose more than 6.6°C. Occasionally, precipitation stimulated the initiation of the emergence. Also, the times of the emergence in the years 1967-1973 corresponded well with the estimated values of the underground temperature at a depth of 20 cm calculated from air temperatures of Matsumoto City: the emergence began when the estimated temperatures rose more than 6.7-

* 現住所: 東京都江戸川区 江戸川養護学園

** 1976年環境温度測定者: 木下 勉・中 修一郎・関根洋二・寺内恭子

7.3°C, except for the years 1967 and 1969 in which a heavy snow fall occurred in the middle of April. It is not certain whether or not the emergence of the toads is influenced directly by the soil temperature at a depth of 20 cm. However, the underground temperature at this depth seems to be a good indicator to use to estimate the time of the spring emergence of the toad. (*Jour. Fac. Sci. Shinshu Univ.* 12: 65-80, 1977)

ヒキガエル (*Bufo bufo* var.) は冬眠から覚めると直ちに産卵活動に入り、毎年決まった場所で1週間程度の短い期間に集中して産卵する。ヒキガエルの産卵期は、長崎地方では12月から3月下旬(中村 1934)、東京では2月中旬から3月上旬(岡崎 1924)、また、長野県では平地で4月中旬から5月上旬、山岳地帯は6月下旬から7月上旬(*cf.* 長沢 1971)というように、その地域の緯度、高度や地形によって異なるが、同じ場所でもその年の気候によって違ってくる。

一般に、両生類に作用して産卵期に入らせる環境要因としては、光周性、温度、降雨が知られているが(PORTER 1972)、ヒキガエルを冬眠から目覚めさせて産卵出動させる環境条件や、産卵出動の同時性を保証しているしくみについては、あまり明らかにされていない。

著者達は、1973年から美鈴湖で始まったヒキガエルの産卵行動に関する調査の一環として、ヒキガエルが越冬していると思われる産卵場所周辺の環境温度の測定を行ない、産卵出動開始の時期との関係をみてきた。その結果、ヒキガエルの産卵出動開始の時期は地温と密接な関係があり、また、20cmの深さの地温を目安にして産卵出動の始まる時期を予知できるのではないかとの結論を得たので報告する。

調査場所と方法

美鈴湖は松本市の北東約5 km、標高1000mの所にある周囲1.7kmほどのせきとめ湖である。長野県の中央にそびえる美ヶ原高原の西の山麓に位置し、国定公園の一部として春から秋にかけては釣やボート遊びがおこなわれ、冬には全面結氷して天然のスケート場となる。

美鈴湖におけるヒキガエルの産卵は例年4月の下旬から5月の初めにかけておこなわれ、約1週間続く。湖には主な産卵場所が3ヶ所あり、それぞれA、B、およびC地点とよばれている(Fig. 1)。各地点はいずれも入江の奥にあり、隣接する産卵場所とは岬によって隔てられている。ヒキガエルは周辺の山からそれぞれの産卵場所へ出動してくるが、その時期はほぼ同じである。

環境温度の測定はB地点の周辺(B地域)で行なった(Fig. 2)。B地域はB地点を北西から北東に半円形に取り囲んでいる北向きの斜面で、建物や車道のような構築物も少なく、美鈴湖のまわりでは最も自然の状態が残されている所である。隣接するA地域、C地域とは小さな尾根によって隔てられており、背後の尾根から産卵場所までは直線距離にすると300~400m程度である。B地点に産卵出動するヒキガエルの多くはここで越冬しているものと思われる。

B地域はアカマツやヒノキの二次林からなり、下生えとしてニシキギ、コナラ、レンゲツツジ、クルマツクバネソウ、ウド、ヒトリシズカなどが生えている。土壌は粘土質の赤土で

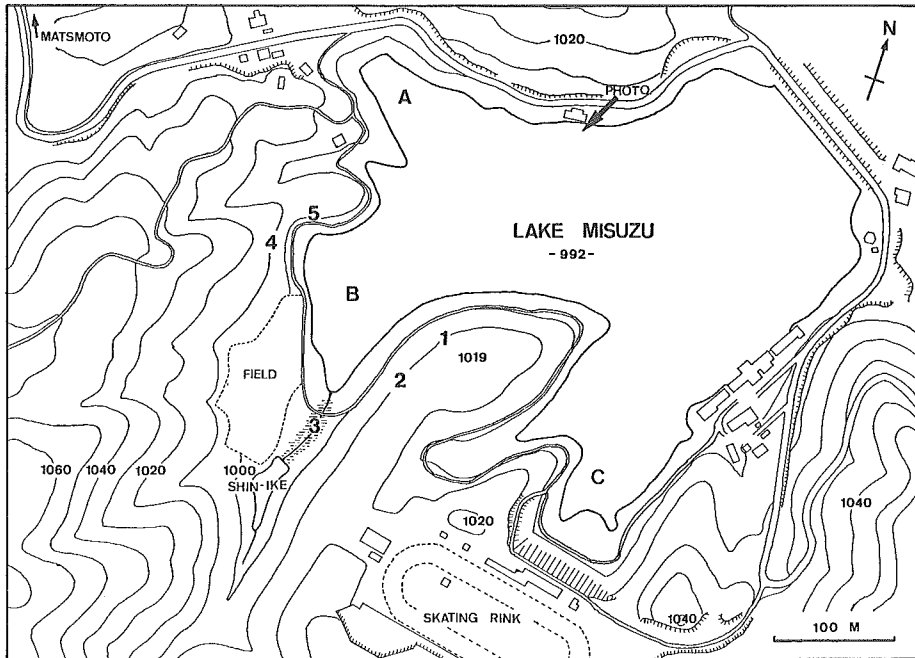


Fig. 1. Map of Lake Misuzu showing the main breeding spots A, B, and C and the topographical features of the B region where the observations were made. Measuring points of temperatures in B-region are represented by numbers. (The map was taken from the city planning map of the Matsu-moto area, 1970)

あるが表面は落葉で覆われている部分が多く、また冬期には深さ 20cm あたりまで凍結層が形成される。産卵場所には小さな流れが注ぎ込んでおり 100m ほど上流に親池と呼ばれる小さな浅い池がある。しかしこの池には、ヒキガエルは産卵しない。この池から湖までは流れにそって湿地となっており、タチヤナギ、カラコギカエデ、ヨシ、サンカクイなどが生えている。また、B地域の中央部には野菜畑があるが、秋の終りからヒキガエルの産卵のすむ5月の初め頃までは、全く使用されていない。

B地域に1から5まで5ヶ所の測定点を定め、気温と地温を測定した (cf. Fig. 1)。気温は、地表から 1.5m の高さに設置した最高最低温度計によって夕方 (午後4時頃) の気温とその日の最高・最低気温を、地温は、5 cm, 20cm, 30cm の深さに設置した曲管地中温度計によって同時刻に測定した。また、B地点の水温を、水深約 30cm の所であわせて測定した。

測定は、1974年から1976年までの3ヶ年につき、3月下旬からヒキガエルの産卵の終る5月初めまで行なった。温度計の破損等のため、この報告ではB地域の気温および地温を、3ヶ年を通してデータのとれた測定点1, 2, および4の3ヶ所の測定値の平均値で示した。

なお、降水量および松本市の気温は、松本測候所が市内で測定したものを使用した (cf. 日本気象協会長野支部編 長野県農業気象月報)。

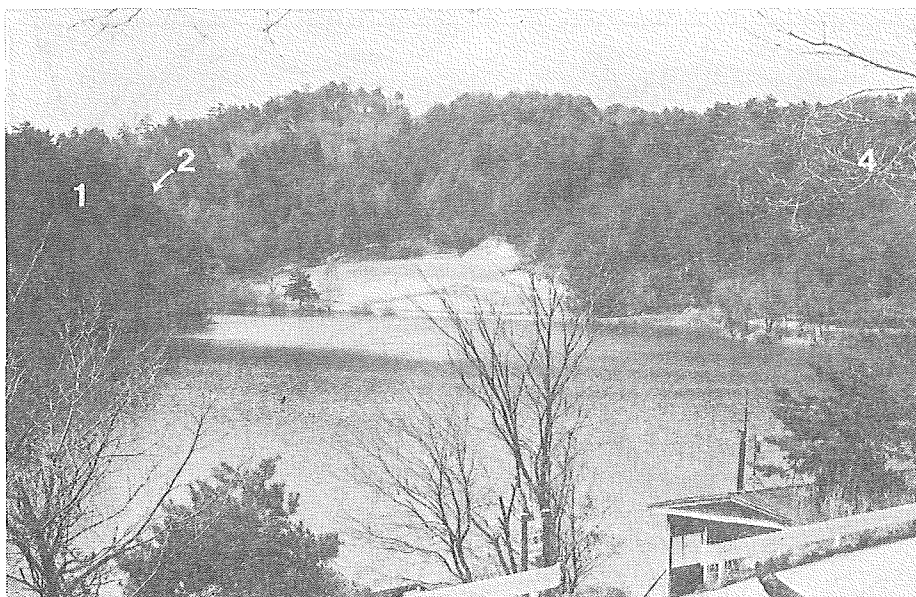


Fig. 2. Photograph of the B-region taken from the site of the arrow in Fig. 1. A vegetable garden is seen in the middle of the B-region. Numbers in the photograph are the points where the temperatures were measured. (May 3, 1976)

結 果 と 考 察

1. 環境温度の季節変化と日周変化

美鈴湖のB地域における1974年から1976年までの3ケ年の気温、地温および水温の測定値を末尾の Table 1 に示した。

気温はその日の天候の影響を強く受けるため、夕方の気温、最高気温、最低気温とも日によって大きく変動した。4月下旬になってヒキガエルの産卵出動が始まったときの気温は、夕方の気温で15~18°C、最高気温は17~24°Cで20°Cを越えた年が多かった。最低気温も5°C近くまで上昇したが、2°C以下の年もあった。

地温は、深くなるにつれて天候の影響を受ける度合いが小さくなるため、日による変動の巾が小さくなり、おだやかで漸進的な変化を示すようになる。Fig. 3 は1974年の地温の季節変化を各深さについて示したものである。この年は3月下旬まで地表近くに凍結層が残っており、その間は各深さとも地温はほぼ一定の値を示し、ほとんど変化しなかった。深さ5cmの所は凍結層に含まれており地温が0°C以下になることもあったが、20cmの所は凍結層の下に位置するため地温は0.7°C程度で0°Cまで下がることはなく、30cmの所は約1.2°Cと地温はさらに高くなっていた。このため地温は地表から深部にかけて“浅低—深高”型の勾配をなしていた。3月末になると地温は急激に上昇しはじめ、約1週間で深さによる地温の勾配が逆転し、“浅高—深低”型となった。

1975年は1974年と同様の地温の変化を示したが、1976年は2月頃から暖かい日が続いたため3月には凍結層が消失し、5cmの地温は深い所よりも高めになった。しかし、20cmと

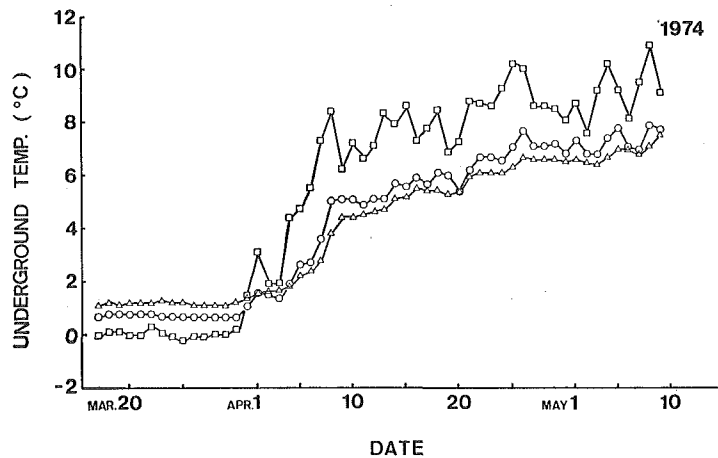


Fig. 3. Seasonal change of the underground temperatures at depths of 5 cm □—□, 20 cm ○—○, and 30 cm △—△.

30cm の地温については前の2年間と同様に“浅低—深高”型から“浅高—深低”型への推移が認められた。

ヒキガエルの産卵出動が始まった時の地温は、5 cm の深さでは $9.8 \sim 10.5^{\circ}\text{C}$ で年によるばらつきがみられたが、20cm および 30cm ではそれぞれ 6.6°C と約 5.9°C で各年ともほぼ一定の値を示した。

水温は、湖の水が溶けた後ゆっくりと上昇し、ヒキガエルの産卵出動が始まった時には $14 \sim 16^{\circ}\text{C}$ に達していた。

ヒキガエルの産卵期間中の温度の日周変化の典型的な例として、1974年4月29日—30日の測定値を Fig. 4 に示した。気温は、松本地方が内陸気候的な性格をもつため大巾な変動を示し、日中は 16°C 近くまで上昇したが、明け方には 0°C 近くまで降下した。地温は、5 cm の所では気温と似た型で日周変化したが、変動の巾は 9.4°C から 5°C までで気温の $1/3$ 以下であった。そして、20cm および 30cm の所では日周変化はほとんど認められなかった。また、水温は、日中にある程度上昇した。

2. 地温と産卵出動開始の時期

冬の終わりからヒキガエルの産卵の行なわれる春の初めにかけて、地温、特に 20cm と 30cm の深さの地温は、気温のような日々の天候の変化による短期的な変動をあまり示すことなく、漸進的に上昇してゆく。この性質は産卵出動開始の時期を予知するには有利と思われるので、美鈴湖のヒキガエルがどの程度の深さの

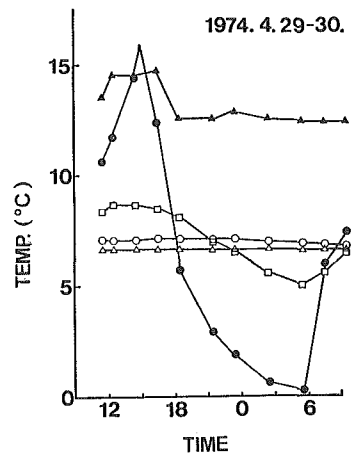


Fig. 4. Daily changes in temperatures during the breeding season of the toads. Air •—•, water ▲—▲ and soil temperatures at depths of 5 cm □—□, 20 cm ○—○, and 30 cm △—△.

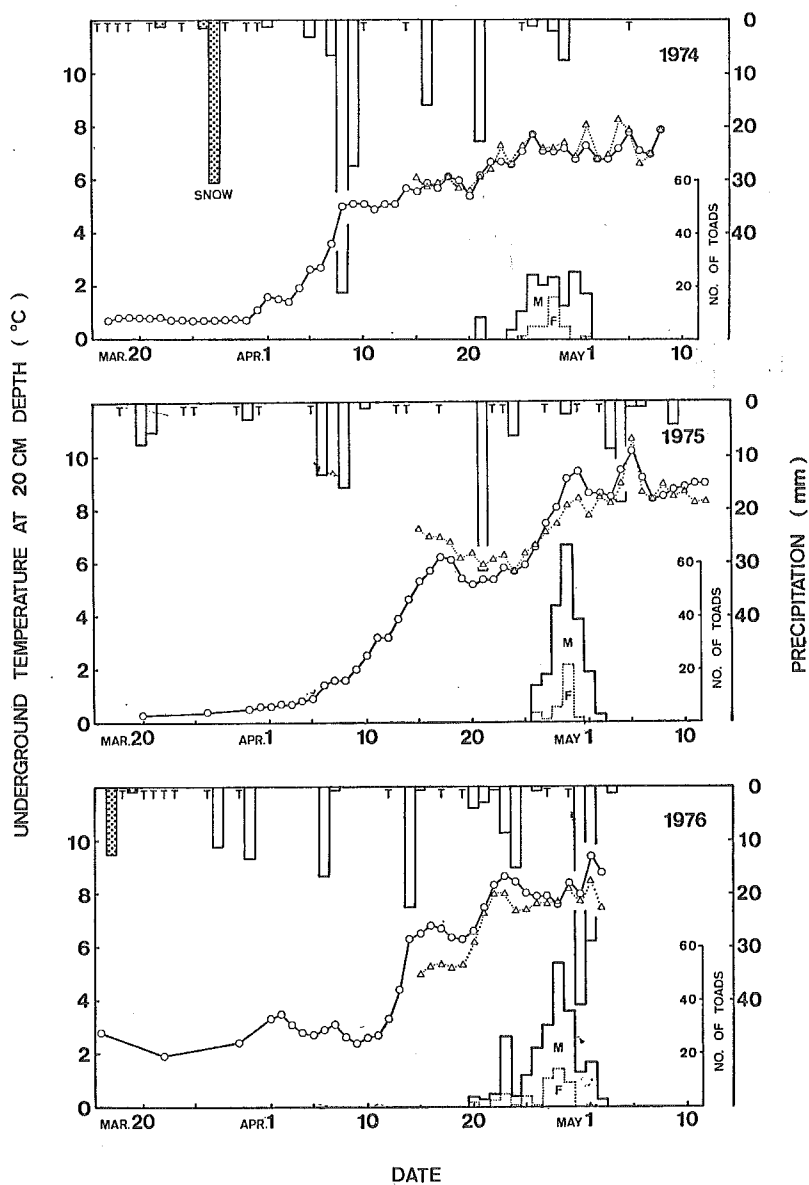


Fig. 5. The relationship between the underground temperature, the precipitation and the spring emergence of the toads. The underground temperatures are shown by measured $\circ\cdots\circ$ and estimated $\triangle\cdots\triangle$ values. Precipitation data was obtained from the records of the Matsumoto Weather Station. The numbers of toads are the unpublished data of the Bufo Research Group (M : males, F : females).

所から産卵出動してくるかは不明であるが、20cmの深さの地温をめやすにして産卵出動開始の時期との関係をみた。

Fig. 5 は、ヒキガエルの産卵出動開始の時期と 20cm の深さの地温および松本市の降水量（松本測候所調べ）を示したものである。また、参考のため、産卵期間中の各日に初めて産卵出動した個体の数を雄と雌に分けて示した（Bufo 研究会未発表データ）。

1974年は4月21日に最初の産卵出動がみられた。この日出動したのは雄7匹で、地温は6.2°Cであった。この日の出動は24mmに達した雨によって早められたためと思われ、その後2日間は出動個体は認められなかった。24日に再び産卵出動が始まったが、この日の地温は6.6°Cであった。この日から8日間にわたり、150匹の雄と35匹の雌の産卵出動が確認された。

1975年は4月26日から産卵出動が始まったが、この日の地温は6.6°Cであった。地温は、この日以後急激に上昇し、それに伴って7日間にわたり215匹の雄と38匹の雌の産卵出動が確認された。しかし、地温が6.2°Cの小さなピークを示した4月17日や、30mmおよび6mmの降雨のあった21日（地温5.4°C）と24日（地温5.7°C）には産卵出動は認められなかった。

1976年は2月中にたびたび雨が降るなど冬の後半は暖冬型になり、3月初めには地面の凍結もなくなっていた。この年の産卵出動が始まったのは4月20日で、2匹の雄と2匹の雌の出動が確認された。この日の地温は6.6°Cで、4mmの降雨があった。しかし、14日の22.5mmの降雨につづき地温が初めて6.6°Cを越えて6.8°Cのピークを作った16日には、産卵出動は認められなかった。この年の産卵出動は13日間と長びき、出動個体数のピークが2つできたが、169匹の雄と47匹の雌の出動が確認された。

このように、美鈴湖のB地域におけるヒキガエルの産卵出動は、20cmの深さの地温をめやすにすると、6.6°Cに達した時に始まるといえる。また、産卵出動は1974年のように降雨によって早められたと考えられる場合もあるが、1976年のように地温が早めに6.6°Cに達した場合には出動を開始しない場合がある。

3. 推定地温と産卵出動開始の時期

気温は日々の天候によって大きく変動するため、それから産卵出動の時期を予知することはかなり困難である。しかし、松本市における各日の平均気温の前10日間前後の移動平均をとると、美鈴湖における地温の変化のパターンに似てくることから、松本市の気温から美鈴湖の20cmの深さの地温の推定を試み、産卵出動開始の時期が記録されている1967年から1973年までの6年間（1970年は調査できなかった）について、推定地温と産卵出動開始の時期との関係をみた。

年平均気温による年平均地温の推定は荒川ら（1951）によって求められているが、著者は1974年および1975年の美鈴湖の地温の実測値と松本市の気温（松本測候所調べ）から、つぎの重回帰式を得た。

$$\widehat{T_{s_{20}}} = 0.11X_1 + 0.10X_2 + 0.40X_3 - 0.43$$

ただし

$\widehat{T_{s_{20}}}$: 美鈴湖B地域の20cmの深さの地温の推定値

X_1 : 推定日の松本市の最低気温

X_2 : 推定日の松本市の最高気温

X_3 : 前10日間の松本市の平均気温の平均値

重回帰式を求めるための標本としては、1974年4月18日から5月8日までの21日間および1975年4月21日から5月8日までの16日間、あわせて37日間の美鈴湖B地域の20cmの深さの地温の実測値を使用した。

この重回帰式を用いて計算した、1974年から1976年までの3ケ年の地温の推定値を、実測値とあわせてFig. 5に示してある。この式による推定地温は産卵期附近では3ケ年とも実測値とかなりよく合っている。1974年から1976年までのヒキガエルの産卵出動開始の日の推定地温は 6.6°C 、 6.7°C 、 6.2°C となり、実測値の 6.6°C とほぼ等しい値を示した。

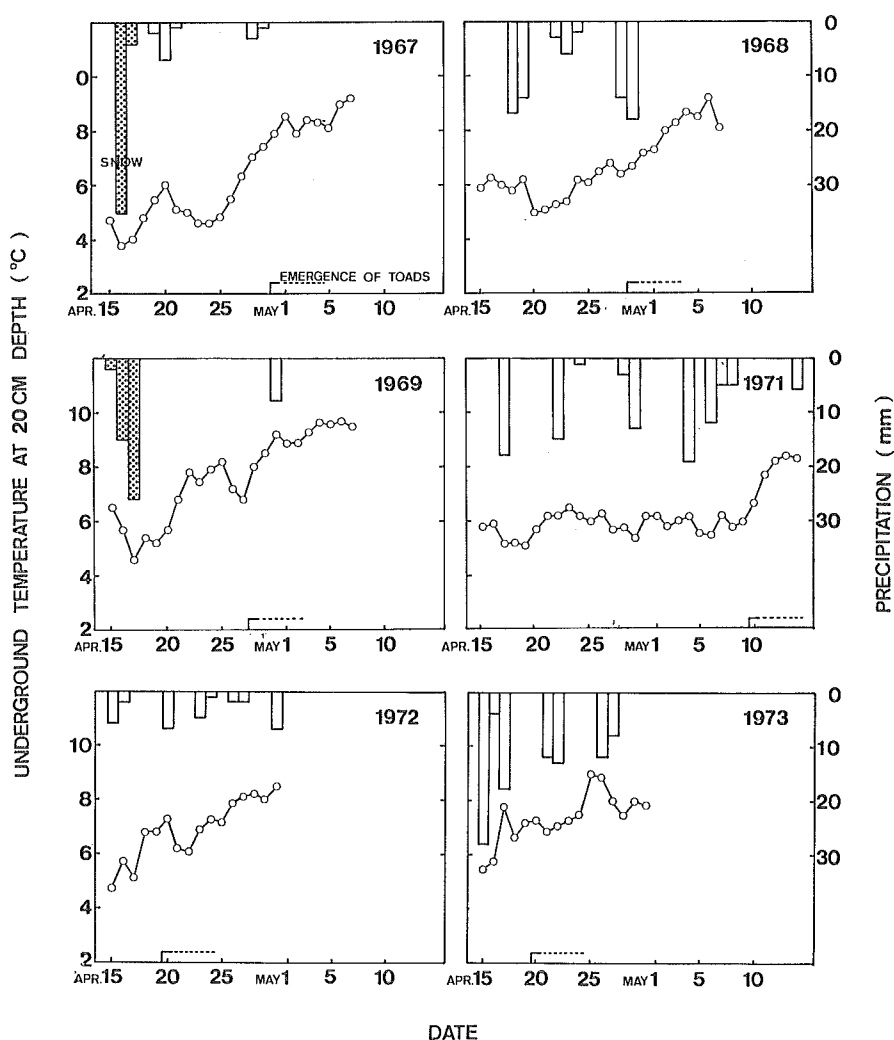


Fig. 6. The relations between the estimated underground temperature, precipitation and the emergence of the toads.

1967年から1973年までについて、この関係式を用いて推定地温を計算した。Fig. 6 にその結果を、産卵出動開始の時期および松本市の降水量（松本測候所調べ）とあわせて示した。

1967年は4月30日に最初の産卵出動が確認されているが、この日の推定地温は 7.9°C である。推定地温が 6.6°C を越えるのは2日前の28日で、この日には2.5mmの降雨もあったが産卵出動は確認されていない。この年は4月16日に降水量にして35mmに達する降雪があったが、これが産卵出動に影響を与えたかもしれない。

1968年は4月29日に最初の産卵出動が確認された。この日の推定地温は 6.7°C で18mmの降雨があった。この年推定地温が 6.6°C を越えたのは2日前の27日であるが、この日には産卵出動は確認されておらず、翌28日からの降雨と相まって29日の出動開始に致ったと思われる。

1969年は1967年と同様に、4月15日から17日にかけて降水量にして43mmに達する降雪があった。最初の産卵出動が確認されたのは4月28日であったが、この日の推定地温は 8.0°C である。この年に推定地温が 6.6°C を越えたのは7日前の21日で、25日には推定地温が 8.2°C まで上昇したが、産卵出動は確認されなかった。

1971年は、5月10日になってやっと産卵出動が始まった。これは、観察されたなかで出動開始の時期が最も遅い年であった。推定地温をみると5月9日まではずっと 6.6°C 以下の日が続き、10日に 6.7°C になった後一気に上昇している。5月4日および6日から8日にかけて降雨があったが、いずれの日にも産卵出動は確認されなかった。

1972年は4月20日に産卵出動が確認された。この日の推定地温は 7.3°C で、7mmの降雨があった。推定地温が 6.6°C を越えたのは2日前の18日であるが、産卵出動は確認されていない。

1973年は4月20日に産卵出動が始まった。この日の推定地温は 7.3°C である。推定地温が 6.6°C を越えたのは3日前の17日で、この日の推定地温は 7.8°C まであがり、18mmの降雨もみられたが、産卵出動は確認されなかった。

以上みてきたように、4月半ばに多量の降雪があった1967年と1969年を除くと、ヒキガエルの産卵出動は20cmの深さの推定地温が 6.7°C から 7.3°C に達した時に始まっている。この結果は地温が 6.6°C を越えると産卵出動が始まるという1974～1976年の結果とよく一致しており、1971年の産卵出動の大巾な遅れも地温との関係でうまく説明できると思われる。1967年と1969年は推定地温が 8°C 近くになってからようやく産卵出動が始まっているが、この遅れは、4月半ばに降った多量の雪の影響によるものと思われる。

6ケ年を通じて、降雨によって産卵出動の開始が早められたと判断できる年はなかった。また、1973年は、1976年と同様に、産卵出動が始まる以前に多量の雨と相まって推定地温が 7.8°C まで上昇した日があったが、この日には、産卵出動は認められなかった。

論 議

両生類の多くのものはそれぞれその種に個有の産卵期をもっており、その時期は胚の発生や幼生の生長がその種に適した環境下で進行できるようにうまく定められている。非熱帯性の種では産卵は通常年1回で種ごとにその時期が決まっているが、産卵期の周期性を支配し、1年のうちの定まった時期に産卵活動をおこさせる環境要因やそのしくみについてはあまり

明らかでない。

両生類の産卵活動を開始させる環境要因としては、以前から、光周性 (ROWAN 1938)、気温 (WRIGHT AND ALLEN 1909, CUMMINS 1920) および降雨 (BLANCHARD 1930) が知られているが、PORTER (1972) は彼の著書の中で、池や川など一年を通して水のある場所に産卵する非熱帯性の両生類の産卵活動を開始させる要因は主として温度であり、陸棲または半陸棲の種では降雨によってもある程度影響されると述べている。

春に産卵する無尾類の多くは、冬眠から覚めるとすぐに産卵活動を開始する。これは、これらの種では前年の秋までに精子形成や卵の成長が完了しているためで (cf. VAN TIENHOVEN 1968), 冬眠から覚めた後なお数週間 (*Rana esculenta*, cf. FRAZER 1973) から1ヶ月以上 (*Rana clamitans*, MARTOF 1953 a, b, 1956) を要する種と違い、産卵出動を開始させる要因は冬眠から目覚めさせる要因と不可分の関係にあると考えられる。

TESTER ら (BRECKENRIDGE AND TESTER 1961, TESTER AND BRECKENRIDGE 1964 a, b, KELLEHER AND TESTER 1969) は、アメリカ合衆国の北部からカナダにかけてすむ Manitoba toad (*Bufo hemiophrys*) の行動についてくわしい研究を行なっている。Manitoba toad は冬眠から覚めるとただちに産卵するが、産卵出動を開始させる要因は温度と降雨であり、最高気温が70°F (約21°C) を越えると出動が始まるが、降雨があればそれより低くても出動が開始される。

ヒキガエル (*Bufo bufo* var.) も冬眠から覚めるとただちに産卵するが、FRAZER (1966) はイギリスにおける調査から、*B. b. bufo* の産卵出動は温度と深い関係があり、気温が7°Cになると開始され、水温が9°Cになると産卵するとのべている。

今回の調査から、*B. b. formosus* の産卵出動開始の時期は温度、特に地温によって支配されており、美鈴湖では20cmの深さの地温をめやすにすると6.6°Cを越えると産卵出動が始まることが明らかになった。また、産卵出動は雨によって早められる場合がある。

Manitoba toad の産卵出動のしくみについて、TESTER らは放射性同位元素 ^{182}Ta を用いた追跡調査から興味深い結果を出している (BRECKENRIDGE AND TESTER 1961, TESTER AND BRECKENRIDGE 1964 b)。Manitoba toad は秋の終わりには18~21 inchの深さの所で冬眠に入っているが、冬になって地面の凍結がこの深さまで達した後は凍結層の厚さの変化にしたがって、その下を上下方向に移動する。それで厳冬期に入って凍結層の厚さが増すと toad は下にもぐってゆくが (最高 46 inch), 春が近づいて凍結層が下から溶け始めると toad はそれにつれて上に昇ってゆき、凍結層が消失すると同時に産卵出動を開始する。

ヒキガエルが Manitoba toad のように越冬中に地温の変化にあわせて上下移動をしているか否かは不明であるが、一般に冬眠中のカエルの温度耐性の範囲は0~9°Cといわれており (cf. PORTER 1972), 耐寒性の強いアジアヒキガエル (*B. b. asiaticus*) でも越冬させている深さの地温が-2~-3°Cまでさがると死亡個体数が増す (西村 1936) ことや、渥美半島のヒキガエルが砂地で45cm、粘土質で20cmくらいの深さの所で越冬している (cf. 市川 1951) ことから考えると、美鈴湖周辺のヒキガエルも凍結をさけて、凍結層の下限である20cmあたりよりも深い所で越冬していると思われる。今後の研究にまたなければならないが、春になって凍結層が消失し、冬眠している深さの地温の勾配が“浅低—深高”型から“浅高—深低”型に逆転することが、ヒキガエルを冬眠から目覚めさせ地上に出てこ

させる要因の1つになっているのではあるまいか。

いままでの調査では、美鈴湖のヒキガエルの産卵出動は4月20日以後に始まっており、それより前に20cmの深さの地温が 6.6°C に達した場合には、例えば1976年のように雨が降っていても開始されない。このことは、ヒキガエルの産卵出動が温度や降雨といった外的な要因だけによって決められているのではなく、内的な要因によっても左右されていることを示しているのかもしれない。HEUSSER AND OTT (1968) は、スイスのチューリッヒ近郊における調査から、*B. b. bufo* の産卵出動開始の時期は産卵場を同じくする群ごとに決められており、同じ群の個体は異なる微小気候の場所で越冬していても同時に産卵出動を開始するが、違う群の個体が同じ場所で越冬した場合はそれぞれの群によって決められた時期に別別に産卵出動することを見いだした。彼等は、このことから、産卵出動の始まる時期は夕方の気温や降雨だけによって決められるのではなく、産卵場所の水温によって変態時に群ごとにセットされる体内時計によって決められているのではないかと述べている。

美鈴湖におけるヒキガエルの産卵出動は20cmの深さの地温をめやすにすると 6.6°C を越えたと始まるといえるが、各個体の初出動日には、1週間から年によっては2週間近くのずれがある。もし、ヒキガエルの産卵出動が越冬場所の地温によって厳密に規定されているとすれば、このずれは越冬場所による地温の違いを反映していることになる。しかし、温度感覚に対する個体差や、雌雄や年齢によって産卵出動の始まる時期が違うことも考えられるので、この点については今後明らかにする必要がある。

また、20cmの深さの地温をめやすにするとヒキガエルの産卵出動開始の時期を予知できるとしても、このことは必ずしも20cmの深さの地温によって産卵出動が支配されていることを意味するものではない。しかし、地温が産卵出動を開始させる主な要因であることはまちがいないと思われるし、この深さの地温は日々の天候によって大きく変動することがないので、産卵出動を予知するには有効な手段ではないかと思われる。この点については、さらに各地のヒキガエルについて地温と産卵出動開始の時期の関係を調査し、明らかにしてゆきたい。

要 約

1. 松本市の郊外にある美鈴湖（標高約1000m）で、1974年から1976年までの3ケ年にわたり、ヒキガエル（*Bufo bufo formosus*）が越冬していると思われる産卵場所周辺の環境温度の測定を行ない、降水量（松本測候所調べ）ともあわせて、産卵出動開始の時期との関係をみた。
2. ヒキガエルの産卵出動開始の時期を支配する環境要因は温度、特に地温であり、20cmの深さの地温をめやすにすると、3ケ年とも 6.6°C を越えると産卵出動が始まった。また、降雨も産卵出動を早める場合があった。
3. ヒキガエルの産卵出動開始の時期が記録されている1967年から1973年までの6年間（1970年は除く）について、20cmの深さの推定地温を計算し、産卵出動開始の時期との関係をみた。産卵出動は、4月の中旬に大雪のあった1967年と1969年を除くと、推定地温が $6.7\sim 7.3^{\circ}\text{C}$ に達した時期に始まっており、調査の結果とうまく一致した。
4. これらの結果は、ヒキガエルの産卵出動開始の時期を支配する主な要因が地温であるこ

とを示していると思われる。

5. ヒキガエルの産卵出動が 20cm の深さの地温によって直接支配されているか否かは不明であるが、この深さの地温は日々の天候によって大きく変動することなく漸進的に上昇してゆくので、産卵出動開始の時期を予知するための有効な目安になるのではないかと思われる。

本研究をすすめるにあたり、松本市の気温と降水量のデータを使用させていただいた松本測候所と日本気象協会長野支部に感謝の意をさげます。また、適切な助言や多大の助力いただいた当生物学教室の藤山静夫氏、菊池美好氏、久保田弥生氏に感謝します。

文 献

- 荒川 淳・東 晃 (1951) : 日本列島における地温の分布について 科学 21 : 144.
- BLANCHARD, F. N. (1930) : The stimulus to the breeding migration of the spotted salamander, *Ambystoma maculatum* (Shaw). Amer. Nat. 64 : 154-167.
- BRECKENRIDGE, W. J. AND J. R. TESTER (1961) : Growth, local movements and hibernation of the Manitoba toad, *Bufo hemiophrys*. Ecology 42 : 637-646.
- CUMMINS, H. (1920) : The rôle of voice and coloration in spring migration and sex recognition in frogs. J. Exp. Zool. 30 : 325-343.
- FRAZER, J. F. D. (1966) : A breeding colony of toad (*Bufo bufo* L.) in Kent. Brit. Journ. Herpet. 3 : 236-252.
- (1973) : *Amphibians*. Wykeham Publications, London.
- HEUSSER, H. and J. OTT (1968) : Wandertrieb und populationsspezifische Sollzeit der Laichwanderung bei der Erdkröte, *Bufo bufo* (L.). Rev. Suisse de Zool. 75 : 1005-1022.
- 市川 衛 (1951) : "蛙学" 裳華房
- KELLEHER, K. E. AND J. R. TESTER (1969) : Homing and survival in the Manitoba toad, *Bufo hemiophrys*, in Minnesota. Ecology 50 : 1040-1048.
- MARTOF, B. S. (1953 a) : Territoriality in the green frog, *Rana clamitans*. Ecology 34 : 165-174.
- (1953 b) : Home range and movements of the green frog, *Rana clamitans*. Ecology 34 : 529-543.
- (1956) : Factors influencing size and composition of populations of *Rana clamitans*. Amer. Midl. Nat. 56 : 224-245.
- 長沢 武 (1971) : "北安曇郡誌" 第一巻自然 北安曇郡誌編纂会 pp. 877-897.
- 中村定八 (1934) : ニホンヒキガエル *Bufo vulgaris japonicus* (Schlegel) の産卵出動及び卵巣に関する数量的研究 動物学雑誌 46 : 429-448.
- 西村源吉 (1936) : 満洲産アジアヒキガエルの冬眠に就て(第一報) 動物学雑誌 48 : 485-488.
- 岡崎常太郎 (1924) : ヒキガエルの産卵時期に於ける諸観察 動物学雑誌 36 : 110-112.
- PORTER, K. R. (1972) : *Herpetology*. W. B. Saunders, Philadelphia.
- ROWAN, W. (1938) : Light and seasonal reproduction in animals. Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc. 13 : 374-402.
- TESTER, J. R. AND W. J. BRECKENRIDGE (1964 a) Population dynamics of the Minnesota

- toad, *Bufo hemiophrys*, in northwestern minnesota. Ecology 45 : 592-601.
- and ——— (1964 b) : Winter behavior patterns of the Manitoba toad, *Bufo hemiophrys*, in northwestern minnesota. Ann. Acad. Scient. Fennicae A. IV. 71/31 : 423-431.
- VAN TIENHOVEN, A. (1968) : *Reproductive physiology of vertebrates*. W. B. Saunders, Philadelphia.
- WRIGHT, A. H. AND A. A. ALLEN (1909) : The early breeding habits of *Amblystoma punctatum*. Amer. Nat. 43 : 687-692.

Table 1. Weather, air, soil, and water temperatures and the date of the emergence of the toads in the B-region of Lake Misuzu for the years 1974-1976.
Air and soil temperatures are shown as the mean values of the measuring points 1, 2, and 4 (cf. Fig.1.).

Date			Mar.														Apr.																
			15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1974	Weather			☉	☉/☐	☉→☐	☐	☉	☉	☐/☉	☐	☐/☉	☉	☉	☐	☐	☐/☉	☉/☐	☉→☐	☐	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☉	☉	☐	☐	☐	☉/☉	
	Air 4 p.m. temp. Max. (°C)			-0.6	0.9	0.3	-3.9	1.7	-2.8	2.2	-0.9	0.2	0.5	-2.0	0.9	5.0	6.1	8.7	6.0	2.4	9.4	14.8	9.9	14.1	12.0	8.3	5.4	5.7	9.2	11.8	16.5	8.5	
	Min. (°C)			5.9	1.6	3.1	2.5	5.5	3.9	4.3	2.7	2.8	3.9	1.5	7.2	5.9	7.6	10.3	10.7	6.5	11.3	17.9	16.3	16.9	15.6	10.7	7.0	8.3	10.5	15.7	21.9	18.6	
	Soil 5 cm temp. (°C)			-4.3	-4.4	-3.9	-6.4	-7.0	-3.0	-8.9	-6.0	-8.5	-6.6	-3.4	-4.7	-8.3	-0.7	—	5.6	-3.2	-4.9	4.2	3.6	-3.0	6.5	8.3	3.7	5.5	-1.7	3.6	0.3	8.6	
	20 cm (°C)			0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.2	1.5	3.1	1.8	1.9	4.4	4.7	5.5	7.3	8.4	6.2	7.2	6.6	7.1	8.3	7.9	
1975	Soil 20 cm (°C)			0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1.1	1.6	1.5	1.4	1.9	2.6	2.7	3.6	5.0	5.1	5.1	4.9	5.1	5.1	5.7		
	30 cm (°C)			1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.4	1.6	1.7	1.7	1.8	2.2	2.4	2.8	3.8	4.4	4.4	4.5	4.6	4.7	5.1	
	Water temp. (°C)			3.7	3.6	4.2	3.5	3.4	4.3	6.6	6.3	5.5	5.5	5.3	6.3	5.3	6.3	6.3	7.3	7.3	7.5	7.3	8.3	9.3	8.3	9.3	8.3	9.1	10.3	11.6	8.8	9.0	
	Emergence																																
	Weather						—							—				☐	☐	☉/☐	☉	☉	☉	☐	☐	☉	☉	☉	☐	☐	☉	☐/☉	
1976	Air 4 p.m. temp. Max. (°C)						—						2.0				1.0	1.3	1.1	2.1	3.4	8.6	7.1	7.2	11.2	6.0	11.3	13.4	6.4	15.1	9.1	13.1	
	Min. (°C)						—						—				—	—	2.0	—	5.0	—	11.0	10.0	—	11.3	—	19.6	13.3	16.8	16.6	—	
	Soil 5 cm temp. (°C)					-0.1							-0.1				0.1	0.6	0.4	0.4	0.6	0.9	1.1	2.1	2.3	1.9	2.6	3.5	4.5	5.8	5.9	8.3	
	20 cm (°C)					0.3							0.4				0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.4	1.6	1.7	2.0	2.5	3.2	3.2	3.9	4.6	
	30 cm (°C)					0.6							0.7				0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.8	2.9	3.4	3.8	
1977	Water temp. (°C)					—							—				—	6.7	7.5	6.5	8.5	9.5	5.5	7.1	8.5	7.3	10.9	8.5	11.1	12.7	9.8	13.5	
	Emergence																																
	Weather	☐							☐								☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☉	☉	☐	☉/☉	☉	☉	
	Air 4 p.m. temp. Max. (°C)	9.7						-2.2								5.3		5.5	7.1	1.8	3.4	7.2	2.8	2.0	2.5	4.9	3.5	11.3	8.2	12.0	10.2		
	Min. (°C)	13.7						12.0								9.2		9.1	12.7	7.2	5.6	10.0	8.6	5.5	3.5	6.2	5.6	12.8	11.2	16.7	17.0		
1978	Soil 5 cm temp. (°C)	-6.9						-2.2							-8.7		-2.9	-2.9	-2.6	-3.5	-5.6	-1.4	-1.8	-6.2	-3.5	-4.7	-4.8	1.6	2.6	9.7			
	20 cm (°C)	5.5						0.3							4.2		4.9	5.2	3.0	3.0	3.2	3.5	3.3	1.3	3.0	3.1	4.5	5.7	8.3	10.8			
	30 cm (°C)	2.8						1.9							2.4		3.3	3.5	3.1	2.8	2.7	2.9	3.1	2.6	2.4	2.6	2.7	3.3	4.4	6.3			
	Water temp. (°C)	2.8						2.4							2.4		3.4	3.4	3.7	3.1	3.0	3.0	3.1	2.9	3.0	2.7	2.8	3.4	3.6	4.8			
	Emergence	—						7.0							7.3		9.9	10.6	9.2	11.0	11.1	8.0	11.0	10.0	10.0	10.1	11.6	9.6	10.7	10.8			

Date		Apr.														May														
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1979	Weather	☐	☉→☐	☐	☐	☉	☐	☉	☐/☉	☉/☉	☐/☉	☐/☉	☉	☐	☉	☐	☉	☉	☐	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☉	☉	☐	☐	☐
	Air 4 p.m. temp. Max. (°C)	17.0	5.4	14.5	12.7	9.2	14.0	12.0	11.6	13.1	18.2	15.3	14.7	9.2	13.2	12.4	13.6	5.9	7.2	17.7	18.5	5.6	11.0	18.0	17.1	12.6				
	Min. (°C)	17.2	17.3	16.3	19.9	15.0	19.4	15.5	12.8	16.4	21.6	19.0	18.3	19.2	18.8	15.9	15.9	16.1	15.4	23.0	23.6	18.6	13.9	20.7	22.7	17.2				
	Soil 5 cm temp. (°C)	1.2	5.4	0.1	1.9	1.6	-2.1	6.7	4.4	7.5	1.7	6.5	9.0	3.8	2.9	6.7	0.2	6.8	-1.7	0.0	9.1	4.8	-2.0	0.8	6.1	8.7				
	20 cm (°C)	8.6	7.3	7.8	8.5	6.9	7.3	8.8	8.7	8.6	9.3	10.2	10.0	8.6	8.6	8.5	8.1	8.7	7.6	9.2	10.2	9.2	8.1	9.5	10.9	9.1				
1980	30 cm (°C)	5.6	5.9	5.7	6.1	6.0	5.4	6.2	6.7	6.7	6.6	7.1	7.7	7.1	7.1	7.2	6.8	7.3	6.8	6.8	7.4	7.8	7.1	7.0	7.9	7.7				
	Water temp. (°C)	5.2	5.5	5.4	5.5	5.3	5.4	6.0	6.1	6.1	6.1	6.3	6.7	6.6	6.6	6.6	6.5	6.6	6.5	6.4	6.7	7.0	7.0	6.8	7.1	7.5				
	Emergence	13.1	9.3	12.3	11.8	11.8	12.8	11.3	9.7	12.3	14.3	14.3	11.8	13.8	12.3	14.7	12.8	12.6	—	15.1	14.1	13.3	14.1	15.5	14.7	14.2				
	Weather	☐	☐	☉/☉	☐	☉	☐	☉	☉	☐/☉	☉/☉	☐/☉	☐/☉	☉	☐	☉/☉	☐	☐	☐	☐	☉	☐	☉→☐	☉	☐	☉/☐	☐	☐	☐	
	Air 4 p.m. temp. Max. (°C)	14.5	18.1	12.6	10.0	10.6	13.2	3.9	7.6	9.1	5.0	15.8	16.0	15.0	18.5	14.0	16.3	19.2	13.2	11.1	17.0	12.0	6.9	12.3	17.9	9.4	17.0	16.8	14.2	
1981	Min. (°C)	—	20.0	18.0	13.0	—	—	13.4	—	11.9	9.1	—	24.1	16.0	24.9	21.4	22.8	22.0	23.0	13.0	—	25.9	15.9	—	25.4	18.8	—	—	25.7	
	Soil 5 cm temp. (°C)	8.4	5.0	9.1	5.3	-0.7	1.0	5.0	3.2	4.6	4.0	4.0	4.5	11.7	8.9	13.6	13.1	5.1	7.9	8.3	11.0	—	6.2	2.2	6.3	9.2	7.5	6.0	5.0	
	20 cm (°C)	8.8	9.9	8.8	8.0	7.1	7.6	6.0	7.3	8.2	6.3	8.5	10.5	10.4	12.7	12.5	12.7	11.2	11.3	10.3	12.9	12.7	9.9	9.9	11.4	10.1	11.9	10.9	11.3	
	30 cm (°C)	5.3	5.7	6.2	6.1	5.4	5.2	5.4	5.4	5.8	5.7	5.9	6.6	7.5	8.1	9.2	9.4	8.6	8.6	8.5	9.5	10.2	9.2	8.4	8.5	8.8	8.9	9.0	9.0	
	Water temp. (°C)	4.4	4.8	5.3	5.4	5.0	4.9	5.0	5.0	5.2	5.3	5.3	5.7	6.4	6.9	7.7	8.1	7.9	7.8	7.9	8.3	9.0	8.6	8.0	8.0	8.2	8.2	8.3	8.2	
1982																														