



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	灌漑水温の上昇に関する研究（第4報）：温水灌漑の気温、水温並に地温におよぼす影響
Author(s)	八鍬, 利助; YAKUWA, Risuke
Citation	北海道大學農學部邦文紀要, 2(4), 1-10
Issue Date	1956-11-18
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11610
Type	departmental bulletin paper
File Information	2(4)_p1-10.pdf



灌漑水温の上昇に関する研究(第4報)

温水灌漑の気温, 水温並に地温におよぼす影響*

八 鍬 利 助

Studies on the raising of the temperature of irrigation water

Report IV. On the effect of the irrigation of warm water
upon the temperature of water and soil of the paddy field
and on the air temperature near the water surface

By

Risuke YAKUWA

Institute of Agricultural Meteorology,
Faculty of Agriculture, Hokkaido University

緒 言

水稻の生育を良好にしてその取量の増加を図るには、水田の気象環境を好適にすることが最も大切な事項の一つである。よつて筆者は先に水温上昇施設内の微気象を観測し、温水を灌漑すると苗代あるいは水田の水温および地温を高め得るばかりでなく、稲の株間の気温の上昇もある程度可能であることを報告した¹⁾。

筆者はさらに進んで温水灌漑の苗代および水田の微気象におよぼす影響をより詳細に知るため、次の様な実験を行つたので、ここにその結果の概要を報告する。

I. 実験第一(苗代期)

観 測 方 法

観測は北大農学部付属農場において行つたもので、第1図に示した様な短冊形苗代に6×6尺の2区を作り、これを次の如く区分した。

第1区 温水灌漑区。本農場の灌漑用水としては、第2報²⁾に述べた様に小川の水をポンプで揚水し、

これをPなる地下導水路を通してAの流出口から流出せしめ、1~9の遊水田で温めた水を用いているが、本区においては遊水田7の水をポンプで温水槽に入れて温め、これを一日2回8^hと15^hに灌漑した。8^hの灌漑の場合には実験区内の水を殆ど全部落してから、温水槽(第2図)の(a)の側孔からゴム管で、槽内の温水を約半分灌漑して区内の水深を約3cmにしたが、15^hには槽の(a)(b)の二つの側孔から温水を5cmの深さに灌漑した。

第2区 対照区。遊水田7の水を水路によつてそのまま灌漑した。灌漑時刻およびその回数は第1区と同様である。

各区のほぼ中央には、0(地面)、5、10、20cmの深さに曲管地温計を設置した。

実験区の西、南、北の三方面には障害物はないが、東北方約20m離れた所に高さ約10mの疎林があり、また苗代期には苗代は葎藎で囲まれていた。

両区には5月5日富国を播種した。

観測項目は両区の水温、地温、水深、流出口(A)、第2区水口(C)の水温、温水槽の水温、その他一般気象で8^h、13^h、15^hに観測した。

さらに6月29~30日の快晴日を選んで昼夜観測を行つた。次には主にこの観測について述べる。

* 北海道大学農学部農業気象学教室報告 第10号

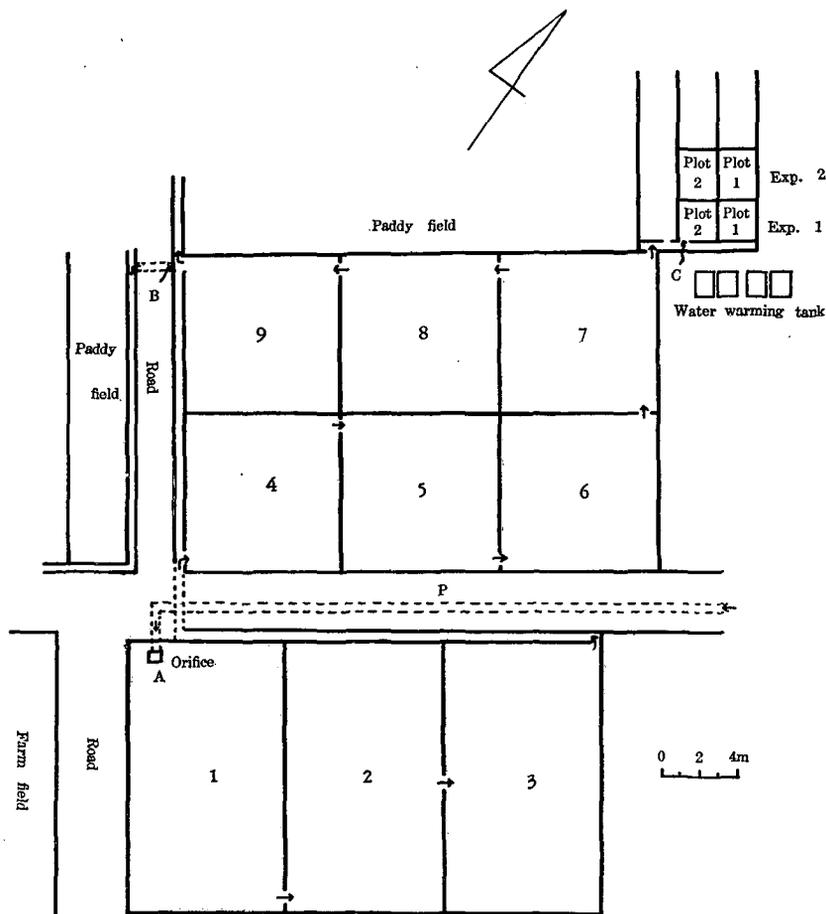


Fig. 1. Location of experiment plots. 1~9 are warming pools.

水温上昇法

亜鉛鉄板で第2図の様な90×90cm、深さ10cmの温水槽を4ヶ作り、その外側に黒エナメルを塗装して日射の吸収能を大にし、かつ温水槽をなるべく日射に

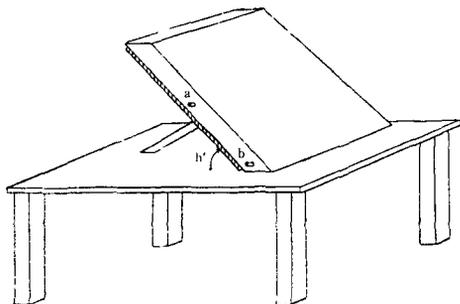


Fig. 2. Water warming tank.

垂直になる様に第2図の台上に設置して、温水槽面に照射する日射の強さを大きくする様努めた。

今6月10, 29両日の太陽高度 (h) および方位角 (A) を

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t$$

$$\cos h \sin A = \cos \delta \sin t$$

の式で計算すると次の如くなる。

Table 1. The height angle of the sun and its azimuth

Date	Height angle of the sun (h)	Sun's azimuth
10 June	8 ^h	41° 51'
	11 ^h 33 ^m 44 ^s	69° 11'
29 June	8 ^h	41° 18'
	11 ^h 37 ^m 46 ^s	69° 41'
		Meridian
		Meridian

第1表の如く太陽高度および方位角は日によつて異なるから、温水槽を常時日射に垂直にすることは甚だしく手数を要する。故に実際温水槽で水温を上昇せしめるには次の様にした。

8^h に温水槽の温水を灌漑に供してから、温水槽をほぼ南方に向け、その傾斜角 (h') を、日によつて異なるが、約 20° として遊水田 7 の水を入れて上昇をはかり、15^h の灌漑後は温水槽をほぼ東方に向け傾斜角 (h') を 48° 位にしてこれに水を入れ、翌朝の日射によつて水温を上昇せしめ、8^h の灌漑に用いた。

遊水田及び温水槽の水温上昇効果

(1) 遊水田の水温上昇効果

流出口 (A) と水口 (C) における水温の日変化を示すと第3図の如くである。

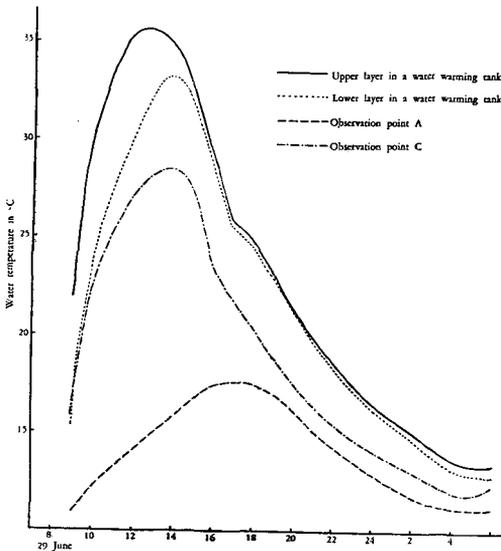


Fig. 3. Hourly variations of the water temperature in a water warming tank and at observation points A and C.

流出口 (A) から流出する水は、地下導水路を通るため、その温度低く、日中の較差も小さい。かつ位相の遅れは甚だしく大きい。即ち 9^h に 10.9°C でその後の水温上昇度も小さく、17^h には一日中の最高温度を示すが、僅かに 17.6°C に達するに過ぎない。最高を過ぎると水温は次第に降下して、翌朝 5^h に最低 11.1°C になる。

水口 (C) の水温は 1~7 の遊水田を流れる途中に

において主に日射によつて水温が上昇するので、9^h には流出口のそれより 5°C 高温である。その後日射が強くなるとともに差は一層大きくなり、水口水温が最高を示す 14^h 頃の差は 12.8°C に達する。最高起時でも流出口 (A) のそれより 3 時間程早い。

18^h 以後は、両者の水温差は次第に小さくなり 20^h ~翌朝 6^h には 0.8~1.4°C となる。

(2) 温水槽の水温上昇効果

温水槽の上部および底部で観測した水温の変化は第3図に示した通りである。上部の水温は 9^h には 21.9°C であるが、温水槽面が多量の日射を吸収するから槽面に接する水温が上昇し、温水は対流によつて上層に上るので、上部の水温上昇は甚だ急で 12^h 30^m には最高 35.6°C になる。

底部の水温は上部よりかなり低温で 12^h にはその差 5.2°C である。15^h 30^m に槽内の温水を第1区に灌漑し、遊水田の比較的冷い水を入れ換えたので、その後は上部および底部の温度は急に下降し、両者の水温差は極めて小さくなる。

両区の水溫日変化

6月29~30日に行つた第1区および第2区の水溫観測の結果は第4図の如くで、第2区においては 8^h 30^m に 17.7°C であつた水を殆ど全部落水して、遊水田から 15.9°C の冷水を灌漑したのであるが、この時刻には日射も相当に強いので 9^h には 19.2°C に昇り、その後もさらに上昇を続けて 12^h 30^m には最高 25.3°C に達した。15^h には 23.8°C に降つたが、15^h 30^m 頃に遊水田から 26.0°C の水を 5cm の深さに灌漑したので、その後暫らくの間の温度降下はいく分緩慢となる。一日中の最低は 15.0°C で翌朝 3^h 30^m に起る。

第1区の水溫を見るに、8^h 30^m に第2区と同様に区内の 17.1°C の水を全部落水して温水槽から 21.9°C の温水を 3cm の深さに灌漑したので 9^h には 20.4°C に上昇し、12^h 30^m には一日中の最高 26.2°C に達する。この時の水温は第2区より 1.0°C 高温である。15^h には 24.0°C に降るが、15^h 30^m に温水槽から 32°C の温水を灌漑したので水温は再び上昇し、16^h には 25.5°C になつた。この時の水温を第2区に比べると 2.0°C の高温である。その後の水温は降下する一方で、かつ両区の水溫差は次第に小さくなり、20^h ~翌朝 4^h の間における差は殆ど認められない程度である。

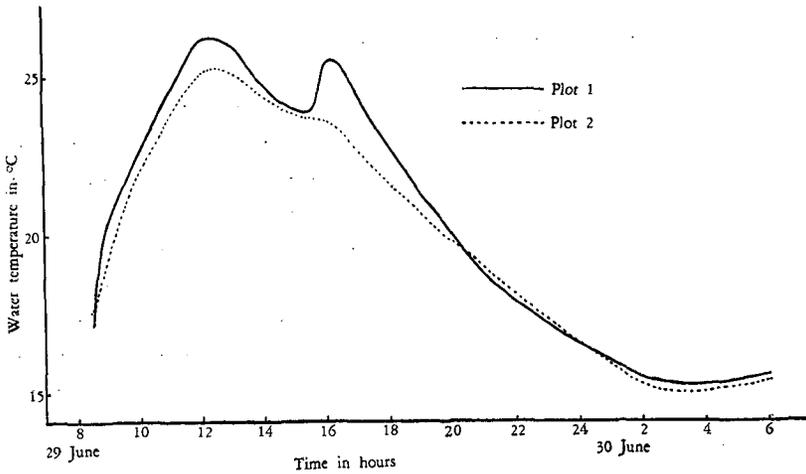


Fig. 4. Hourly variations of the water temperature in plots 1 and 2. At 8^h 30^m, 29 June water of 21.9°C and of 15.9°C was applied to plots 1 and 2 respectively; again at 15^h 30^m water of 32°C and of 26.0°C was applied.

地温の変化

29~30日の地面(底面), 5, 10, 20cm深さの地温観測結果を用いて等地温線図を描くと第5図の如く

である。

第2区の等地温線図を見るに, 13^h頃地面付近には23°Cの等地温線で包まれた暖域があり,これが時間の経過とともに次第に地中内部に移行する模様が判る。

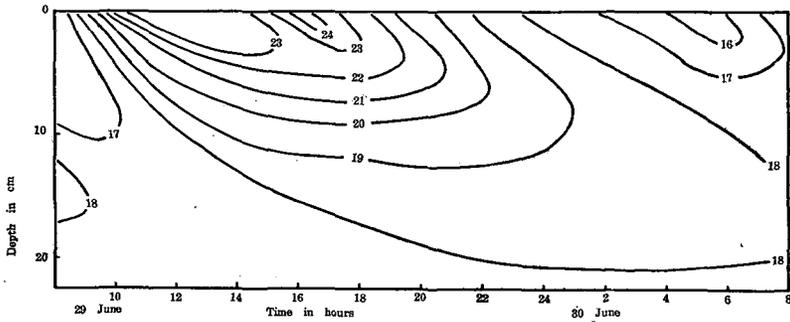


Fig. 5 a. Geotherms in plot 1.

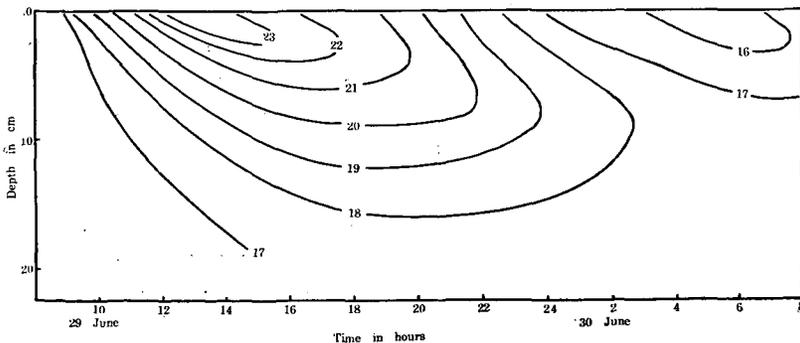


Fig. 5 b. Geotherms in plot 2.

翌朝 5^h 前後には、地面近くに 16°C の冷域があり、まず地面が冷えこれが地中に伝播する状態を示している。

第 1 区の等地温線図も 13^h 前後には地面付近に 23°C の等地温線で包まれた暖域が見られるが 15^h30^m に灌漑した温水の影響を受けて 16~17^h には 24°C で包まれた第 2 の暖域が現れている。

両区の地中内部の温度を比較すると、第 1 区は第 2 区より高温であることが判る。即ち第 2 区の 5 cm 層の地温は、10^h に 17.4°C であるが、16^h には最高温度 21.5°C に達しその後次第に降下しているが、第 1

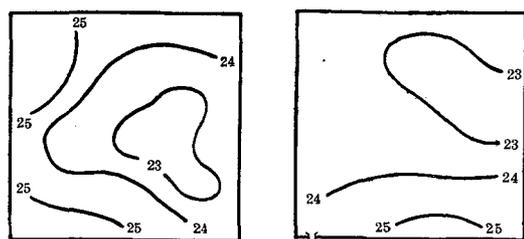
区 5 cm 層の地温は 10^h~20^h には第 2 区より 0.5~1.0°C の高温を示す。

灌漑前後の水温水平分布

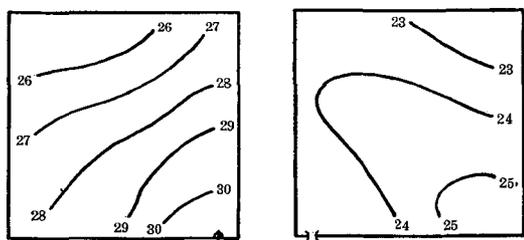
灌漑前後における水温の水平分布を調べ、灌漑水温の苗代水温におよぼす影響を見た。観測結果を図示すると第 6 図の如くである。

灌漑前 (15^h25^m) の第 2 区における水温分布を見るに、23~24°C で各所大した差はない。第 1 区においても大部分は 23~24°C、只一部に 25°C の水があるだけで概していうと両区の水温にはあまり差は認められないが、灌漑直後 (16^h30^m) の水温水平分布には著しい差がある。即ち第 2 区には遊水田から 26.0°C の水を灌漑したので水口付近の水温は 24.0°C 程度になっているが、温水灌漑区においては同区の水温より著しく高温な 32°C の温水を灌漑したため、水口の水温は 30°C の高温を示している。

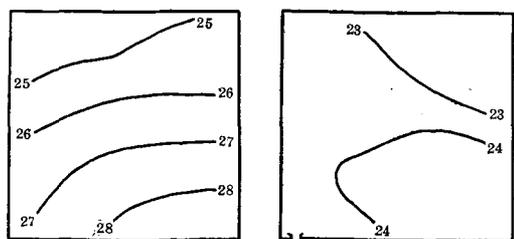
灌漑後約 1 時間 30 分経過すると第 2 区は 23~24°C になるが、温水灌漑区は第 2 区より著しく高温で、水口付近は 28°C、最も低い処でもなお 25°C の温度を保っている。



a. 15^h25^m (Before irrigation)



b. 16^h30^m (After irrigation)



c. 17^h00^m (After irrigation)

Fig. 6. Distribution of the water temperature of the surface.

At 15^h30^m water of 32.0°C and 26.0°C was applied to plots 1 and 2 respectively.

II. 実験第二（本田期）

観測方法

苗代期実験区の北隣りに 6×9 尺の区を設け第 1 区温水灌漑区、第 2 区対照区とし、一日 1 回 15^h に灌漑した。

温水槽で水温上昇を図るには、例えば 7 月 27 日の日南中の太陽の高さは 65°58' であるから、温水槽の傾斜角 (h') を約 24° とした。灌漑方法、観測法等総て実験第一と同様である。

移植は 6 月 30 日で 7×7 寸の正方形一本植である。

観測は本田期中殆ど毎日行つたが、7 月 27~28 日の快晴日には昼夜観測を、8 月 9 日および 9 月 26 日には気温、水温および地温の垂直分布の観測を行つたので、次には主にこれらの特別観測について述べる。

両区水温の比較

流出口 (A)、水口 (C)、温水槽内の水温の変化は苗代期のものとはほぼ同傾向をもっているが、両区の水溫、地温の比較に必要なから第 7 図に観測結果を示す。

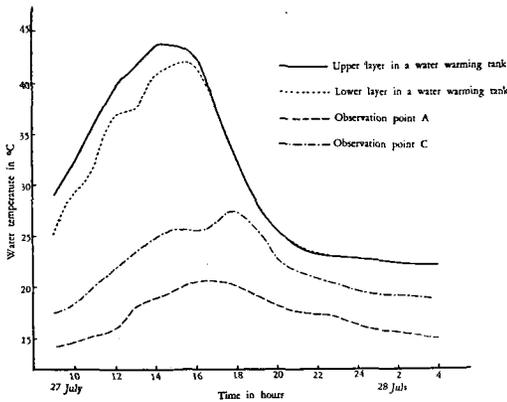


Fig. 7. Hourly variations of water temperature in a water warming tank and at observation points A and C.

7月27日~28日の昼夜観測の結果を図示すると第8図の如くである。

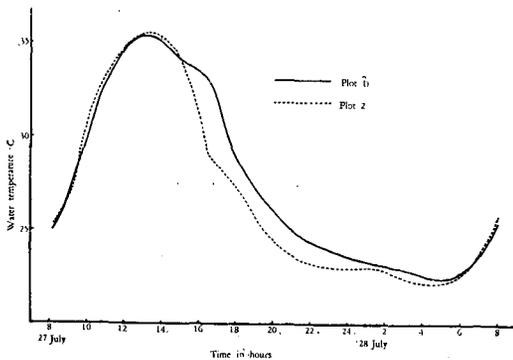


Fig. 8. Hourly variations of water temperature in plots 1 and 2.

At 15^h20^m water of 40.2°C and of 25.2°C was applied to plots 1 and 2 respectively.

8^hから15^hまでの両区の水温を見るに(第8図), 10^hに0.8°Cの差がある外, 他の時刻には大した差はなく15^hには両区とも34.1°Cを示すが, 15^h20^mに第2区には遊水田7から25.2°Cの水を灌漑したので, 15^hから16^h30^mまでに水溫は5.1°C急降して, 29°Cになるが, 第1区には40.2°Cの温水を灌漑したので水溫の下降は自然下降よりも著しく緩かで16^h30^mには第2区よりも4°Cの高温を示す。

17^hにおいても第1区は尙3.4°C高温であるが, その後になると差は減少し23^hには1°Cになる。翌朝1^h~8^hの間の差は極めて小さい。

地温の比較

地面温度は水溫とほぼ同様な変化を示している。即ち第2区は15^hに33°Cであつたが, 冷水灌漑後の地面温度の降下は著しく急で16^h30^mには28.5°Cまで下つている。これに反し第1区においては, 15^hに地面温度が32.5°Cであつたが, 15^h20^mに温水を灌漑したので, 地面温度降下は著しく緩かとなる。

次に地中内部の状態を見るため, 15, 17, 19, 23^hの地温の垂直分布を示すと第9図のようになる。

灌水前に測つた15^hの地温は, 両区間に大した差は見られないが, 灌水後の17^hの観測を見ると第1区は第2区より地面で2.6°C, 5cmでも0.8°C高温である。19^hにおいても冷水の影響は顯著で10cmの深さまでおよんでいる。

以上の如く灌漑水溫の高低は, 水田の水溫および地温に大きな影響をおよぼすから, 灌漑水溫と水田水溫とを比較調査して, 適当な時刻に灌漑することは甚だ大切なことであるとともに, 冷水地帯においては水溫の上昇をはかることが甚だ肝要な事柄である。

冷水水を灌漑した場合の 接地気象垂直分布

水田水溫の高低は, これに接する気溫にも影響をおよぼすことは第3報¹⁾に述べたが, さらにこれを詳しく知るため8月9日の快晴日を選んで15^h20^mに第1区には43°Cの温水を, 第2区には21.7°Cの水を灌漑し, 灌漑前後における気溫, 水溫および地温の垂直分布を観測した。これを図示すると第10図のごとくである。但し水稻の高さは70cmであつた。

まず気溫垂直分布を見るに, 灌漑前においては水面上10cmの高さで第2区の気溫が第1区よりも0.4°C高温であるが, その他の高さにおいては殆んど同温である。また灌漑前の第1区地面温度は, 第2区より1.0°C余り高温であるが, 深く入るにつれて差は減少し, 5, 10cmにおいては殆んど同温となる。しかし灌漑後における両区の気溫および水溫には著しい差が見られる。第1区では温水の影響を受けて水溫は33.6°Cに, 地面温度も33.5°Cに上昇し, 第2区のそれより各々5.3°C, 7.0°Cの高温となる。温水の影響は深さ5cmの地温までもおよび, 両区の差は0.7°Cである。気溫の垂直分布を見ても, 水面上1cmでは第1区は第2区より3.4°C高く, 50cm高さまでも温水の影響が見られる。

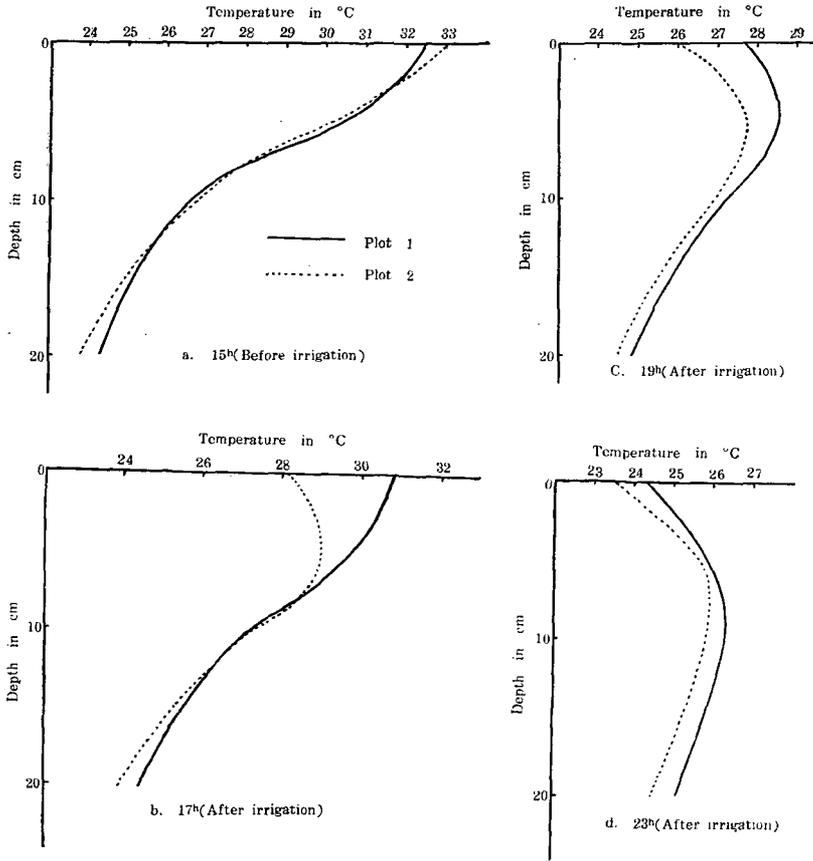


Fig. 9. Depth-temperature curve
 At 15^h20^m water of 40.2°C and 25.2°C was applied to plots 1 and 2 respectively.

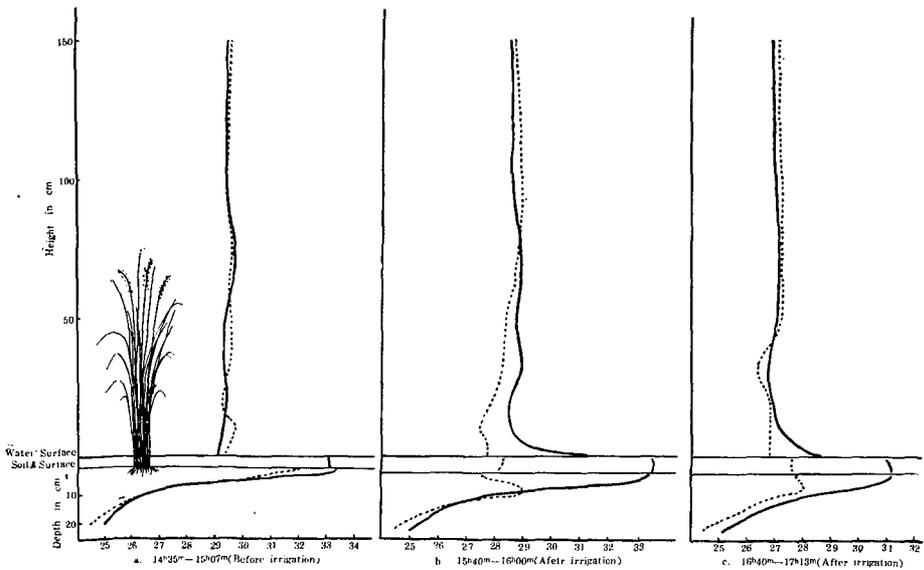


Fig. 10. Vertical temperature distribution of air, water and soil in plots 1 and 2 on 9 August.
 At 15^h20^m water of 43°C and 21.7°C was added to plots 1 and 2 respectively.

灌溉後1時間20分の水温および地温は、第1区は第2区より相当高温を示し、気温においても30cmの高さまで温水の影響が残っている。

8月9日の観測においては、温冷水を一日1回灌溉した場合における水温、地温および気温の分布状態を示したものであるが、9月26日の晴天の日に第2表の如く一日数回冷温水を灌溉してこれが水田の微気象におよぼす影響を調べた。

即ち第1区について見るに、まず試験区の水を落しこれに次表に示す様な時刻に槽内の温水を約3cmの深さに灌溉した。

Table 2. Frequency of irrigation and temperature of irrigation water.

Hour	11 ^h 25 ^m	13 ^h 45 ^m	15 ^h 15 ^m	17 ^h 00 ^m
Water temperature °C	32.5	29.9	26.9	23.2

第2区には遊水田7の水を水路によつて第1区と同様な方法で灌溉した。

観測項目は地温(観測の深さは前同様)、表面水温および気温(水面上1, 5, 10, 20, 30, 50, 70 および100 cm)で、26日10^h30^m, 12^h20^m, 14^h45^m, 15^h20^m, 17^h15^m, 18^h05^mの6回観測を行つた。その結果を図示すると第11図となる。観測当時の水稲の高さは約70cmであつた。

今土壤層、水層、生育層および外気層の四層に分けて両区のイソプレートと比較すると、外気層における気温分布には両区間に大した差異は見られないが、水層および土壤の浅層においては12^h20^mから15^h30^mまでの間では、第1区が第2区より4°Cの高温を示している。生育層においても第1区は2°C程高温である。接地気温の高くなるのはここに述べるまでもなく、生育層内の空気が温水から熱を得て昇温したためである。

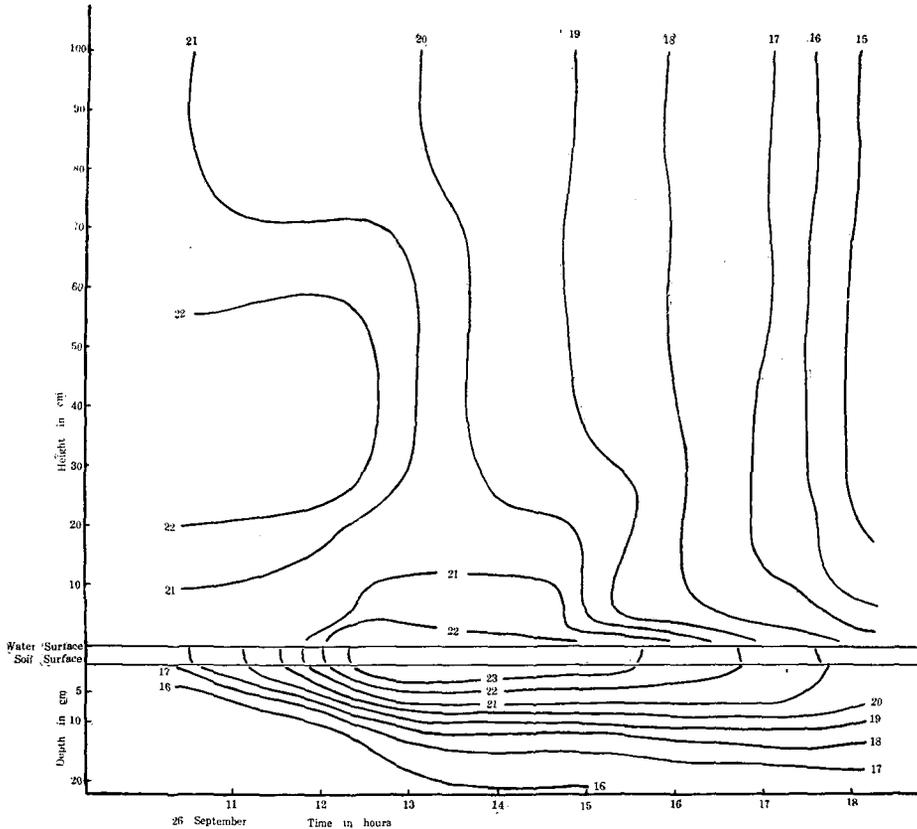


Fig. 11a. Isotherms of temperature of air, water and soil in plot 1.

Warm water was applied at 11^h25^m, 13^h45^m, 15^h15^m and 17^h00^m to plot 1.

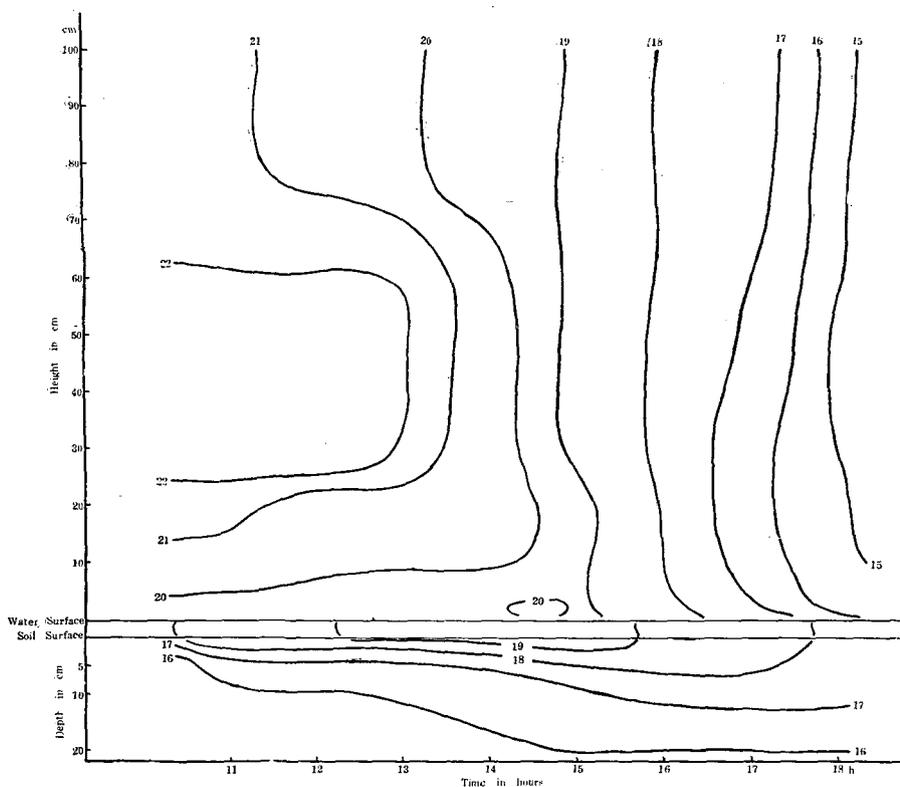


Fig. 11 b. Isopleths of temperature of air, water and soil in plot 2.

Water from a warming pool 7 was applied at the same time as to plot 2.

要 約

以上述べた実験第一と実験第二の結果を要約すると次の如くなる。

1. 6月29日の観測によると灌溉水は遊水田によつて温度は相当高められる。差の大きい時には水口(C)の水温は流出口(A)のそれより 12.8°C 高温である。
2. 本実験に用いた温水槽の水温上昇効果は甚だ顕著で、槽内水温の最高は6月29日には 35.6°C 、7月27日には 43.8°C に達した。
3. 苗代期における実験を見るに、温水灌溉区は対照区よりも水温、地温ともに高く、差の大きい時には水温は 2.0°C 、地面温度は 2.3°C に達する。本田期においては温水灌溉区の水温は対照区より 4.0°C の高温を示すことがある。
4. 温水を灌溉すると苗代および水田の水温、地温を高めるばかりでなく、生育層内の気温をも高める。

9月26日温水を昼間4回灌溉したときの観測を見ると、 $12^{\text{h}}20^{\text{m}}\sim 15^{\text{h}}30^{\text{m}}$ には温水区の水層および土壌層内の温度は対照区よりも 4°C の高温を示し、生育層内の気温も約 2°C 高温であつた。

5. 以上述べた様に灌溉水温は苗代および水田の水温、地温および生育層内気温に顕著な影響を与えるから、寒地稲作においては灌溉水温の上昇を図ることが甚だ重要である。

この実験の一部は文部省試験研究費の援助を得て行つたものである。同省の御厚意に対し深謝の意を表する。また実験に当つては元農場長手島博士、農場主任御園生博士および元助手田島氏の御厚意に預つたことが多い。ここに記して深く感謝するとともに観測および資料の整理に協力された宮本硬一、坂井淳一両氏、大泉英子嬢に厚く御礼を申し上げる。

文 献

- 1) 八嶽：灌漑水温の上昇に関する研究 第3報，水温上昇施設内の微気象，北海道大学農学部付属農場特別報告第10号（昭和27）。
- 2) ——：同上第2報，遊水池および水温上昇施設内の水温，同上。

Summary

1. The experiment discussed in this paper was a study on the effect of the irrigation of warm water upon the temperature of water and soil of paddy field and on the air temperature near the water surface.

The experiment was carried out in the First Farm of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

2. Four water warming tanks of thin zinc plates were used to warm irrigation water. Each tank was $90 \times 90 \times 10$ cm in size and was painted black. The tank was set so as to receive solar radiation at a right angle.

The hourly variations of the water temperature in the tank are shown in Fig. 3.

Results of observation of the water temperature at observation points A and C (Fig. 1) are also reproduced in the same Figure.

Experiment 1

The arrangement of plots is as follows

(Fig. 1):

Plot 1. Water which had been warmed in the water warming tank was applied to the plot twice a day.

Plot 2. Water from warming pond 7 was added to plot 2 directly at the same time as to plot 1.

At 8^h30^m 29 June, water of 21.9°C and of 15.9°C was applied to plots 1 and 2 (Fig. 1), respectively and also at 15^h30^m, 29 June water of 32.0°C and 26.0°C added to plots 1 and 2 respectively.

As shown in Fig. 4 the water temperature of plot 1 was higher than that of plot 2, especially at 16^h, 29 June the water temperature of plot 1 was 2.0°C higher than that of plot 2.

Geotherms of plots 1 and 2 are shown in Figures 5a and 5b.

Experiment 2

The experimental plots are shown in Fig. 1.

At 15^h20^m 27 July water of 40.2°C and of 25.2°C was added to plots 1 and 2 respectively. As shown in Fig. 8 the fall of the water temperature of plot 1, owing to the warmer water applied to the plot, was very slow compared to that of plot 2.

From Figures 10 and 11 it is obvious that warm water applied to the plot affected not only the temperature of water and soil but also the temperature near the water surface.