



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	灌漑水温の上昇に関する研究 : 第1報 浅い水槽内の水温に就いて
Author(s)	八鍬, 利助; YAKUWA, Risuke; 山吹, 藤雄 他
Citation	北海道大学農学部附属農場特別報告, 10, 28-36
Issue Date	1952-08-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13244
Type	departmental bulletin paper
File Information	10_p28-36.pdf



灌漑水温の上昇に関する研究 第1報*

浅い水槽内の水温に就いて

八 鋏 利 助

山 吹 藤 男

Studies on the Raising of the Temperature
of Irrigation Water First Report .

On the Water Temperature in the Shallow Water Tanks

by

RISUKE YAKUWA

FIJIO YAMABUKI

1 緒 言

北海道の様には夏季比較的冷涼な地方に於ては、稲の生育及びその収量は氣象環境の影響を受けることが著しい。気温¹⁾に就いて見るに、札幌7、8月平均の気温が平年より1°C高くなると全道平均の米反當収量は2.8斗内外の増収となる。網走、十勝地方に於ては増収の度は更に大きい。水温及び地温に就いても略々同様なことが言える。故に本道に於ては人為的に水温、地温及び接地気温の上昇を圍り適當な氣象環境を作ること、稲作上最も重要な事柄である。

水稻の適水温は近藤²⁾吉川博士³⁾等によると、30—34°Cであるが、普通用水源として用いている河川、湖沼、湧水等の水温はこれより甚だしく低温である。道内主要河川の水温⁴⁾を示すと次表の如くである。

各河川水温の観測時刻及び統計年數異なるから相互比較することは當を得ないが、次表によつて道内河川水温の大体がわかる。石狩町宇生振に於て灌漑に用いている石狩川舊流の水温は筆

第1表 主要河川の水溫

河川名 \ 月	4	5	6	7	8
石狩川(江別)	5.3	9.1	16.3	22.3	24.8
羽幌川(羽幌)	3.2	7.3	16.4	19.8	21.1
十勝川(帶廣)	5.5	9.4	13.2	15.8	16.6

『註』 括弧内は地名、溫度は(°C)

者が7月の晴天日に觀測した結果は22.7°Cである。

次に湖沼の水溫を見るに、北海道水産試験場千歳支場支笏湖畔孵化場⁶⁾の觀測によると支笏湖の表面水溫は次の如くである。

第2表 支笏湖畔表面水溫

月	4月	5月	6月	7月	8月
シリセツナイ河口	5.0	6.9	8.9	14.3	18.5

吉村氏⁷⁾が昭和3年8月3日に觀測した支笏湖の表面水溫は19.7°Cである。又洞爺湖8月の表面水溫は海洋氣象臺(神戸)⁸⁾の觀測によると約22°Cである。概して言うと夏季湖水の表面水溫は奥羽地方では25°C以上に昇ることは稀であり、北海道では20°C内外とされている。

札幌近郊にある札幌村の或る農家は掘抜き井戸の水を灌漑しているが、その水溫は筆者が7月に觀測した結果によると9.6°Cである。

以上述べた河川或は湖沼の水が水田に入る迄には水溫はある程度上昇するであろうが、水稻の栽培に適温たらしむるには適當な方法で水溫の上昇を圖ることが必要である。

上述の必要から本道に於ては遊水池を設け、或は迂回路を作つて灌漑水溫の上昇を圖つてゐるが、食糧の増産を最も急務とする現状に於ては一層効果的な水溫上昇施設を要望していることは論を俟たない。依つて筆者等は昭和22年の夏、灌漑水溫上昇の基礎研究として、浅い水槽内に於ける水溫上昇に就いて實驗を行つた。次にその結果の概略を述べる。

2 觀測の方法とその結果

厚さ0.6 mmの亜鉛引鐵板で40×40 cm、深さ10 cmの水槽を作り、これを次の4區に分け、各區に10立の水を入れて水溫の觀測を行つた。

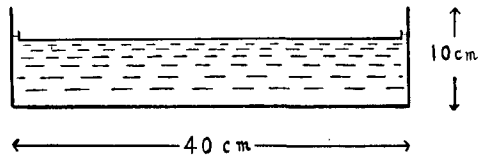
第1區(白色區) 水槽の内外面共白色に塗裝。

第2區(暗赤色區) 内外面共暗赤色に塗裝。

第3區(黑色區) 内外面共黑色に塗裝。

第4區(黑色有覆區) 第3區と同様内外面黑色のものに、黒く塗色した薄い亜鉛板の周邊を折り曲げたものを水面に浮べる(第1圖)。

これらの水槽を農學部農場内の氣象觀測露場に置き日射が充分當る様にし、晴天の日を選んで數日間水温及び氣象要素の觀測を行つた。氣象觀測は氣象觀測法により水温は水槽の水を攪拌し $\frac{1}{5}^{\circ}\text{C}$ 目盛の溫度計で測つた。

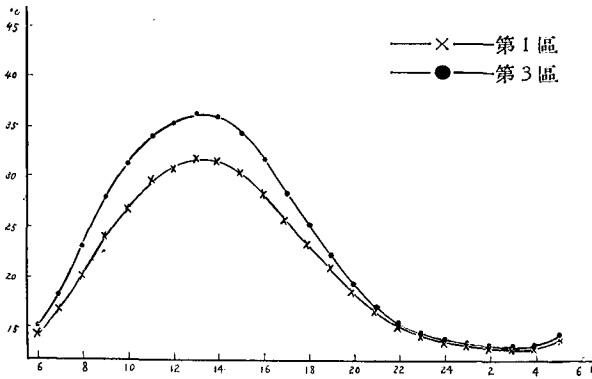


第1圖 實驗用水槽(第4區)

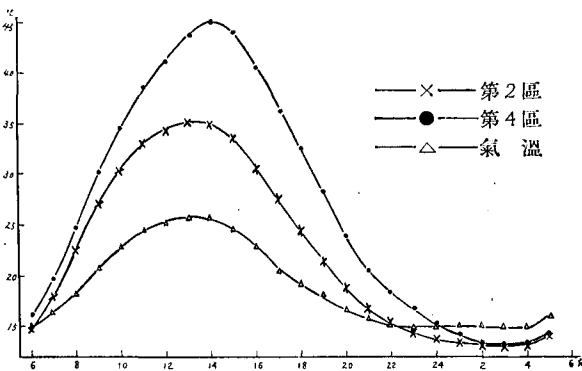
觀測期間中6月27,28日は快晴で南寄りの風弱く日射が強かつたから、次には主にこれらの

日の觀測について述べ、更にこれに加えて7月17—18日の觀測の結果を略述する。

6月27—28日の水温及び気温の日變化を示すと第2圖及び3圖の如くで更に圖上から各區の最高最低溫度及びそれらの起時を求めると第3表となる。



第2圖 水温日變化(6月27日6時~28日5時)



第3圖 水温及び气温日變化(6月27日6時~28日5時)

第3表 最高最低溫度及び起時

區	最高溫度		最低溫度		振幅
	溫度	起時(hm)	溫度	起時(hm)	
第1區 (白色區)	31.8	13.20	13.1	3.00	18.7
第2區 (暗赤色區)	35.2	13.25	13.1	3.00	22.1
第3區 (黑色區)	36.3	13.25	13.1	3.05	23.2
第4區 (黑色有覆區)	44.9	14.05	13.2	3.10	31.7
氣 温	25.8	13.30	15.1	3.00	10.7

3 各區水溫の比較

上に掲げた圖表によつて第1區水溫の日變化を見るに6時には14.3°Cであるが日射次第に強くなると共に水溫も上昇し13時20分には1日中の最高31.8°Cに達する。その後水溫は次第に下降し翌朝3時には最低溫度13.1°Cになる。第3區は6時に15.0°Cで第1區より僅か0.7°Cの高温を示すに過ぎないが、水槽は黒色であるから、多量の日射を吸収しこれを槽内の水に與えるから水溫の上昇著しく13時25分には36.3°Cに昇る。この時刻を過ぎると水溫は次第に下降して翌日の3時5分には最低に達する。本區を第1區に比べると、8時以後兩區の水溫差は急に大きくなり10—15時には第3區は第1區より4.0—4.5°Cの高温を示している。其の後差は小さくなり22時以後は兩區略々等溫となる。

第4區は6時には他の區より僅かに高いだけであるが、その後の昇溫極めて大きいため14時5分には最高44.9°Cに達し、第3區の最高より8.6°C、第1區のそれより13.1°Cの高温を示している。

概して言うと夜半及び早朝には各區の水溫差は小さいが、日出後差は急に大きくなり、日中には第4區水溫は他區よりも著しく高く、第3區これに次ぎ第1區は最も低い。第2區は第1區と第3區の略々中間に位する。

7月18, 19日の觀測の際には概して晴であつたが、時には日射は雲のため妨げられたので水溫の變化は稍不規則であつた。今参考のため偶數時に於ける第4區と他區との水溫差を求めると次の如くなる。

第4表 各區の水溫差

區	時												平均
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2	4	
第4區 — 第1區	0.6	3.2	5.9	9.7	10.8	9.8	8.4	5.1	3.0	1.6	0.9	0.6	4.9
第4區 — 第2區	0.4	1.0	3.3	7.2	8.7	8.3	7.4	4.9	3.0	1.7	0.9	0.6	3.9
第4區 — 第3區	0.1	0.3	2.5	6.3	8.0	7.8	6.6	4.6	2.8	1.6	0.8	0.6	3.4

上表によつて見ても第4區水溫は地區より著しく高温であることがわかる。

次に6月27日—28日の觀測結果を次の様なFOURIERの級數で表わし得るものとする。

$$u = A_0 + A_1 \sin(pt + \epsilon_1) + A_2 \sin(2pt + \epsilon_2) + \dots$$

但し u : 水溫, A_0 : 日平均水溫, A_1, A_2, \dots : 振幅, $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$: 位相のおくれ, t : 時刻 (6hを起點とする), $p = \frac{2\pi}{T}$ 。

今 $A_1, A_2, \dots, \epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ を BESSEL の方法によつて計算すると次表の如くなる。

第 5 表 調 和 分 析 常 數

區 項	A_0	A_1	A_2	A_3	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3
第 1 區	20.86	9.41	1.81	0.33	320°31'	217°53'	206°25'
第 2 區	22.25	11.31	2.31	0.50	324 07	220 26	233 05
第 3 區	22.77	11.82	2.31	0.51	323 32	221 41	232 50
第 4 區	26.63	15.64	2.57	0.41	315 12	202 23	287 58
氣 溫	18.98	5.38	1.64	0.27	326 47	210 40	161 43

1 日週期波の最高又は最低温度の起時は $\sin(pt + \epsilon_1)$ が極大又は極小の場合であるから

$$pt + \epsilon_1 = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$$

で與えられる。これから t を求めると

$$t = \frac{(2n + 1) \frac{\pi}{2} - \epsilon_1}{p}$$

となる。 n が偶數であれば最高温度、 n が奇數であれば最低温度を與える。 n が偶數の場合即ち最高温度の起こる時刻を第 4 表の ϵ_1 を用いて計算すると 6 h を起點とした t を得る。これを中央標準時に直すと次の如くなる。

第 6 表 最 高 温 度 起 時

區	第 1 區 (hm)	第 2 區 (hm)	第 3 區 (hm)	第 4 區 (hm)	氣 溫 (hm)
最高温度起時	13.38	13.23	13.26	13.54	13.13

上表を見ると 6 月 27—28 日の水温の最高温度起時は計算の結果と、観測から得た第 3 表の値と略々一致し、第 4 區の水温最高温度起時は他區よりも著しくおくれることがわかる。

4 考 察

各區の水温差を説明するに水面に出入する熱量を考えなければならない。水面に出入する熱量には色々あるが、⁹⁾ 入る熱の主なるものは直達日射と天空輻射である。出る熱量としては水面からの輻射による放熱と蒸發によつて奪われる潜熱が主なるものである。

水面に入射した日射の一部は水面で反射し空中に戻るが、他は水中に入つて吸收される。

水の日射に対する吸収能は波長によつて異なるが、SCHLIMDT¹⁰⁾によると水面に垂直に入射した場合の全日射量を1,000とすると各深さに於ける日射の量は次の如くである。

第7表 各深さに於ける日射量

深 さ	0.01 mm	1.0 mm	1 cm	10 cm	1 m
日 射 量	993.7	859.4	730.2	549.3	358.1

前表から考えると筆者等の実験に用いた浅い水槽の場合には、日射の一部は水層を通つてその側壁及び底に達し此處で吸収されるが、吸収能は色によつて著しく異なる。黒色は最もよく日射を吸収し、暗赤色これにつぎ、白色の吸収能は最も小さい。この様な理由で日中には第3區(黒色區)は第1、第2區に比べると日射を多量に吸収するから水温は最も高くなるが、第1區は日射の吸収量が少いから温度最も低く第2區は前二者の略々中間に位する。

次に第4區の水温が各區中最も高温である理由を調べるため、黒色亜鉛板覆及び水面に於ける日射の反射について述べる。

水面或は地面に入射した日射の強さを J 、水面に於て反射した日射量を R とすると、 R/J は反射能又はアルベドで、この値は地面の如く粗な表面に於ては太陽の高度には殆んど關係はない。數種の土壤の反射能を示すと次の如くである。

第8表 土壤面の反射能

場 所	土 壤	反 射 能	測 定 者
京 都	壤 土 (水分 13.8%)	0.17	八 鍬 ¹¹⁾
"	黒 色 土 (水分 14.8%)	0.15	"
Stockholm	黒 色 土 (乾)	0.14	ÅNGSTRÖM ¹²⁾
"	黒 色 土 (濕)	0.08	"
"	灰色砂土 (乾)	0.18	"
"	灰色砂土 (濕)	0.09	"
京 都	白 色 土 (水分 16.9%)	0.46	八 鍬 ¹¹⁾

川加氏等¹³⁾は各種の土壤面の日射の吸収能の測定を行つた。その結果は第9表の如くで暗黒体に極めて近い値を有つている。

黒色亜鉛板で作つた覆の日射の反射能は明かでないが、上述の諸結果から見ると、その値は土壤面に於けるものよりも可成小さく、日射の殆んど全部を吸収するものと見做しても大した差

第9表 日射に対する吸収能

土 壤	砂 土	壤 土	腐 植 土
吸 收 能 (%)	89	97	99

支はなかりうと思われる。

次に水面に於ける反射能を見るに、FRESNEL によると滑らかな水面の反射能は次式で與えられる。

$$\frac{R}{J} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)} - \frac{\tan^2(i-r)}{\tan^2(i+r)} \right]$$

但 i : 入射角, r : 屈折角

ÅNGSTRÖM¹⁴, SCHMIDT¹⁵ は水面に於ける反射能の測定を行つた。ÅNGSTRÖM によると天空輻射の反射能は太陽高度に關係なく 0.10 であるが、直達日射のそれは次表に示す様に太陽の高度によつて著しく異なる。

第10表 水面に於ける日射の反射能

太 陽 高 度	47°0'	43°10'	19°30'	12°10'	5°30'
反 射 能 (%)	2.2	4.8	16.0	40.0	71.0

以上の諸結果を総合して定性的に考えると、黑色亜鉛板覆の表面に於ける反射能は水面に於けるものよりも著しく小さいと思われる。従つて多量の日射を吸収し、これを覆に接する薄い水層に與える。これに加うるに本區は覆を有するから蒸發量は他區に比べると著しく小さいため蒸發によつて奪われる潜熱は僅小である。

觀測當日(6月27日—28日)の蒸發量は不明であるから7月15日—16日と7月18日—19日の平均の蒸發量を示すと次の如くである。

第11表 蒸 發 量

前表の様に第4區の蒸發量は極めて少量で第3區の約 $\frac{1}{3}$ に過ぎない。1gの水が $t^{\circ}\text{C}$ に於て蒸發する場合には(594.9—0.51t)calの潜熱をとるから、蒸發量の多少は水溫に著しい影響を與えることがわかる。

區	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區
蒸發量(mm)	4.6	7.0	7.3	1.4

かくの如く第4區は他の3區に比べて黑色亜鉛板の覆の表面に於ける日射の吸収量が大き、且つ蒸發によつて奪われる熱量が少いから本區の水溫は他區よりも著しく高温である。

5 總 括

以上數節に述べた事柄を總括すると次の如くなる。

(1) 第1區(白色區)第2區(暗赤色區)第3區(黑色區)の水溫を比べると日中には第3區が最も高温である。

(2) 第4區(黑色有覆區)の水溫は第3區よりも更に高く最高溫度は第3區のそれよりも8.6°Cの高温である。

(3) 第4區水溫の著しく高温なのは黑色亞鉛板覆面に於ける日射吸收量が大きいのと、水面からの蒸發量が少い事に因ると思われる。

本實驗を行うに當り觀測に助力してくれた成田郁郎氏に感謝の意を表すると共に、資料の整理に手傳われた大泉英氏に其の勞を深謝する。

引 用 文 献

- 1) 八峯：北海道の稻作と氣候。北海道大學農學部邦文紀要 1(昭和26—27年), 199.
- 2) 近藤, 岡村：水溫と稻の生育との關係。第1報。農學研究 15(昭和24年), 95.
- 3) 吉川：稻の灌漑水の溫度に就きて。同誌 30.
- 4) 海洋氣象臺：河水溫度觀測表。海洋時報 4(昭和7年)—13(昭和18年).
- 5) 齋藤：石狩川河川觀測に就いて。北海道氣象要報。特別報告, 第3號(昭和20年), 9.
- 6) 田中館：北海道火山湖研究概報。52頁
- 7) 北海道水産孵化場：水産孵化工場試驗報告, 湖沼特輯號 21 頁參照。
- 8) 海洋氣象臺：洞爺湖觀測報告。海洋時報 7(昭和9年), 299.
- 9) 八峯：地溫に關する研究。北海道氣象要報 2(昭和18—19年), 44.
- 10) SCHMIDT, W.: Absorption der Sonnenstrahlung in Wasser. Sitzgsber. ksl. Akad. Wiss. in Wien Mathem. naturw. Kl. Abt. IIa. 117(1908), 247.
- 11) 八峯：前出 89.
- 12) ÅNGSTRÖM, A.: The albedo of various surfaces of ground. Geograf. Ann. 7(1925), 323.
- 13) 川畑外：各種の土壤の輻射能及び吸收能について。農業氣象 6(昭和26年), 170.
- 14) ÅNGSTRÖM, A.: 前出
- 15) SCHMIDT, W.: Über die Reflexion der Sonnenstrahlung an Wasserflächen. Sitzgsber. ksl. Akad. Wiss. in Wien Mathem. naturw. Kl. Abt. IIa. 117(1908), 237.

Résumé

In the northern part of Japan it is very important to raise the temperature of irrigation water. So we carried out a fundamental experiment on the raising of the temperature of water in four shallow tanks.

1. Each tank was $40 \times 40 \times 10$ cm in size and made of thin zinc plates.

First tank was painted white,

Second „ „ „ dark red,

Third „ „ „ black,

Fourth „ „ „ black like the third one with a thin black zinc plate floated on the water surface (Fig. 1).

We filled each tank with 10 l of water and observed the temperature of the water in the tank. The results of observations are shown in Figs. 2 and 3.

2. In the day time, the water temperature of the third tank was higher than that in the first and the second. This is due to the fact that the black side wall and the black bottom of the third tank absorbed much more solar radiation which penetrated through the water layer than did the others.

3. The reflection power of the black zinc plate for solar radiation, as Tables 8-9 show, is much less than that of the water, and the evaporation from the water surface of the fourth tank is very small compared with the others (Table 11).

For these reasons, the water temperature of the fourth tank is the highest of all.