

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：16201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24658211

研究課題名(和文) 暑熱環境の緩和および地球温暖化対策を目的とした自然冷熱源の利活用に関する研究

研究課題名(英文) Study on using natural cold energy source for warm condition and global warming

研究代表者

松村 伸二 (Matsumura, Shinji)

香川大学・農学部・准教授

研究者番号：60165868

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：ため池の深水層の低温水は、水稲の高温障害回避のための対策としての実験により、年間を通じてため池の低温水が安定的に供給可能であること、ため池から水田までの導水過程による熱損失は少ないこと、異常高温年において低温水を導水した水田の水稲の外観品質に有効であったこと、などの結果が得られ、自然冷熱源として暑熱環境対策・温暖化対策として有効であることが判明した。

研究成果の概要(英文)：It turned out that the low-temperature water in deep layer of pond was effective for warm condition and global warming as natural cold energy source by following conclusion, the stable low-temperature water supply was made possible throughout the year, the cold water flew from pond to paddy rice field with less energy loss, there were significant difference between the appearance quality of rice using cold water and that using warm water at hot summer.

研究分野：農業物理学

キーワード：自然エネルギー ため池 水温 溶存酸素

1. 研究開始当初の背景

(1)本来ため池で利用されるのは表層の比較的高温な水のみで、深水層の低温な水は農業用水として適さないため、昔から利用が避けられてきており、特に北日本では水温上昇のための研究が盛んに行われてきた経緯がある(例えば、新井正(1966))。

(2)一方、近年の地球温暖化による農業への影響として、水稻については高緯度地方では栽培期間が早まり、低緯度地方では高温障害リスクが高まるとされ、実際に 2010 年の高温・猛暑被害が多くの農業被害をもたらしたことは記憶に新しい。それらの暑熱対策として、地下水(阪口、2005)やヒートポンプ(垣淵、2005)によって根圏域を冷却する方法が報告されているが、局所的または電力消費量型の対策では農家の経営的負担やより広い栽培面積への適用に問題がある。その点、ため池の深水層に存在する低温水は自然の冷熱源であり、かつある程度の規模のため池であれば膨大な水量が得られるため、広範な農地にも適用が可能と考えられる。

(3)従来の農業用ため池の水温に関する研究については、鳥居(1937)のため池水温調査報告など古くからあるが、特に深水層形成の季節的変動や水位変化との関係を明らかにしたものがほとんどない。また陸水学や土木分野においても吉村(1929)や道奥ら(1990)のダムや湖沼での水温成層の成立機構の研究など多くの研究がなされているものの、ため池に比べ大規模なものが多く、なおかつ深水層の変動に着目した観測事例がほとんどない。

2. 研究の目的

(1)水温成層の動態を解析するため池モデルの構築により冷熱源としてどの規模のため池が利用可能なのかについて明らかにする。

(2)深水層の低温水を圃場へ導水する過程による熱損失を量的に把握する。

(3)水稻の高温障害対策としてため池の低温水を利用する上で、実際に低温水に高温障害回避効果があるかどうか、あるとすればその適切な低温水の水田への導水時期、導水期間はどうなのかについて明らかにする。

3. 研究の方法

(1)ため池の形状の違いによる水温成層の違いを把握するため、複数のため池を形状別(貯水量、水深、面積)に区分し、それぞれの水温動態を継続観測し、深水層の低温水の動態の単純なモデルの作成を行う。水温成層の観測は水深(水位)と水温で、年間を通じて形成され変化する温度成層を水深別に詳細に把握する。

(2)ため池から水田への導水時の熱損失は、開

水路における冷水の流れを熱流体として数値計算を行い、併せて実際に水路を流れる水の温度を測定し、数値計算結果との比較検討を行う。

(3)低温水による高温障害回避効果の実験は、水稻栽培用の数m区画の実験圃場において、本学附属農場の地下ポンプから吸い上げられる低温な地下水を使い、地下水の配水方法を変えた区をいくつか設けて、この低温水の高温障害に対する効果を圃場レベルで実験する。低温水のカンガイ処理区としては、1日中カンガイを行う場合、夜間のみ行う場合、日中のみ行う場合など、1日のうちの導水時間帯を分けて処理を行う。最終的に各処理区の水稻の収量構成要素と外観品質を分析し、低温水の効果を検討する。

4. 研究成果

(1)ため池深水層の水温は、水深 14m 程度の二股上池においては水底近くで年較差は約 5、1年を通して約 6 ~ 11 の温度範囲にあり(図 1)、2007 年の猛暑の年においても夏季は約 10 前後となっており、水位変動が小さければ猛暑の年でも安定した低温水が夏季に得られることがわかる。また水深 9m 程

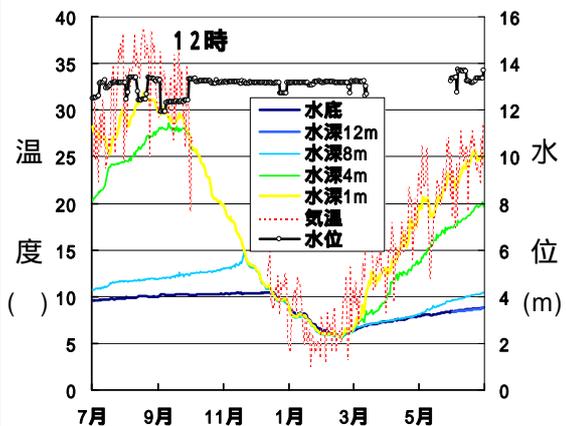


図 1 年間の水温変化

度の鍛冶池においては夏季の水温は 13 ~ 16 とやや高くなる(図 2)。

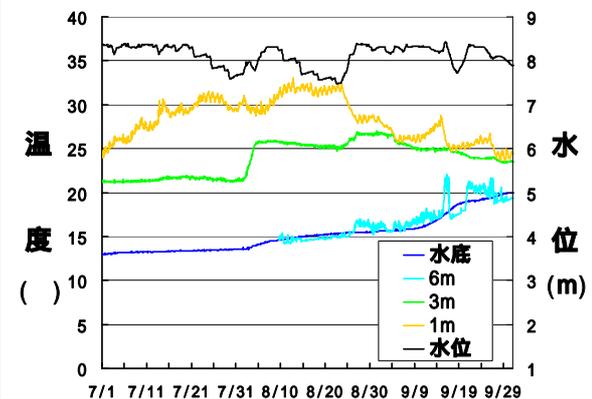


図 2 夏季の水温変化

これら二つのため池の年間の水位変化は小さいが、水深 20m 強の小川下池は水位変化が大きく、2014 年は 5m 以上の変動があった(図 3)。しかし、水底の水温変化に影響はなく、7 ~ 9 程度の安定的な水温を示している。いずれも比較的深く、満水面積が大きい二股池と小さい小川下池では夏季の深水層の水温は両者とも安定的に利用できることが明らかとなった。また水深の大きいため池ではカンガイ期の水位変動に対しても最低水位が 10m 程度あれば深水層水温は安定していることがわかった。

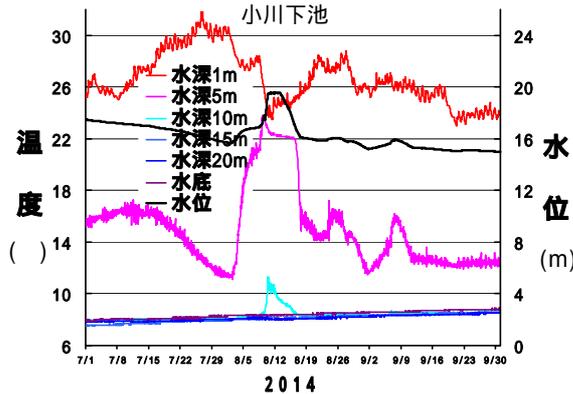


図 3 水位変動の大きいため池

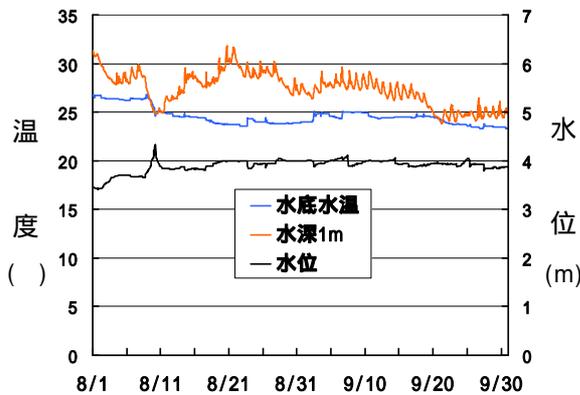


図 4 比較的小さいため池の水温変化

また水深約 4m の比較的小さいため池の熊田池では水底水温は 25 前後を推移し、深水層の低温水は発生しない。水温の冷却メカニズムが作用しない浅いため池では低温水利用は困難である。

(2)低温水の導水過程によるエネルギー損失については、比較的小さいモデル的水路の水温上昇について以下の式により数値計算を行った。二股池土地改良区内の実際の水路網に

$$h \frac{\partial \theta}{\partial t} = \alpha (\theta^* - \theta)$$

この式のパラメータを当てはめて計算したところ、0.5 となった。次に、実際の鍛冶池の池尻から流出した水が水路網を流れていく過程でどの程度の昇温があるのか測定した結果を図 5 に示す。

池尻水温(高)は水深の浅い所に樋門があり、比較的水面近くの水を取水した場合の池尻(池の水の出口)の水温の変化を表し、池尻水温(中)は水深約 4m 地点から取水した場合の池尻水温である。池尻水温(中)から流出した水は 19 程度で下流約 200m 地点で約 1 上昇し、下流約 850m 地点で約 2 上昇していることがわかる。池尻水温(低)は(中)よりさ

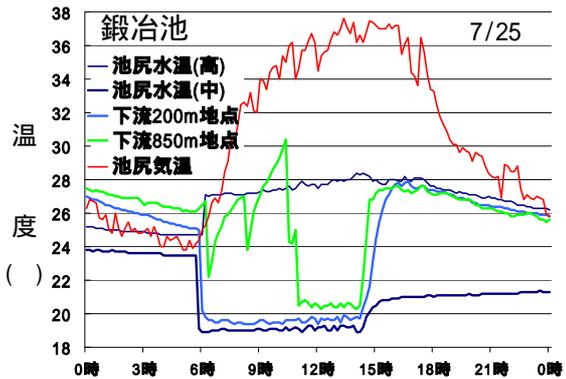


図 5 取水位置が中程度の低温水の昇温過程

らに低い水深約 5m 地点の位置から取水した場合の水温で、その水温は約 17.5 である。この水が下流 1060m 地点(ほぼ末端の水田付近)に達するまでに約 2 の昇温がみられた(図 6)。

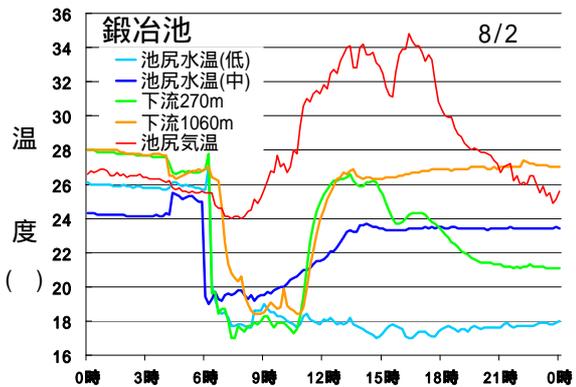


図 6 取水位置が低い場合の低温水の昇温過程

以上の計算値と実測値により、理論上の昇温レベルは比較的小さいが実際の昇温はそれよりかなり大きかった。これについては、水田における取水方法が水路に堰を設けて水を滞留させながら導水するため、水路を流れる水が停滞し、その間に受熱するためと考えられる。水田ごとに取水するたびにそのような滞留を繰り返すため、昇温は計算値を大きく上回ることになる。しかし、昇温は大きくても 2 ~ 3 となっており、水稻の高温障害回避にどの程度の低温水が必要かはさておき、導水過程においてそのレベルの昇温を見込めば良いことが判明した。

(3)低温水による高温障害回避効果の有無について、研究期間中および研究期間以前の圃場実験から検証した。途中、地下水ポンプの故障があり、実験方法の修正を余儀なくされ

たが、本実験で得られた結果から導水した地下水水温と導水時刻、導水時間と水稻の外観品質の関係をまとめた。表1は各年の処理方法を示したものである。2010年と2013年は高温年である。2014年は8月の2つの台風等により日照不足の夏となり、また低温傾向もあり、登塾歩合、外観品質すべてに有意差がなかったため省略した。冷水区に導水する地下水の水温は16、水道区の水道水温は26~28である。

表1 各年の処理方法

年	試験区	冷水温度(°C)	導水時間	導水回数	導水間隔
2010	水道区	16	日中	5、6回	2日/4日
	冷水区				
2011	水道区	16	日中	5、6回	1日/2日
	冷水区				
2012	水道区	22	夕方	1回	1日/2日
	冷水区				
2013	水道区	23	夕方	1回	毎日
	冷水区				

表2、表3は2010年~2013年の各処理区の登塾歩合と外観品質をまとめたものである。2010年は全国的な猛暑となり、新潟県においても一等米比率が大きく低下した年である。冷水区は日中2.5時間毎に地下水を導水した区で、対照とした水道区と登塾歩合、外観品質の整粒、未熟粒、被害粒、腹白背白粒に有意な差が生じた。同じ高温年の2013年では、地下水ではなく地下貯水槽に溜まった23程度の低温水を冷水区に導水しているが、有意な差は得られていない。23レベルの低温水では効果がないとも考えられるが、夕方のしかも1回のみ導水であることから、導水時刻と導水期間(回数)の特定はできなかった。しかし、2010年の16の低温水、日中のみ断続的に掛け流す方法が有効であったのは明白である。また、2011年や2012年のような特に高温年でない年には低温水の導水は外観品質にはほとんど影響がない。

表2 各年の概観品質調査の結果(1)

年	試験区	登塾歩合(%)	玄米外観品質(%)		
			整粒	未熟粒	被害粒
2010	水道区	76.8	30.8	65.0	2.5
	冷水区	83.5	39.8	57.2	1.6
	t検定	*	*	*	*
2011	水道区	69.5	48.5	-	-
	冷水区	70.5	52.1	-	-
	t検定	ns	ns	-	-
2012	水道区	85.3	64.1	34.8	0.6
	冷水区	84.4	62.1	36.4	0.8
	t検定	ns	ns	ns	ns
2013	水道区	65.1	44.6	50.5	0.6
	冷水区	69.7	42.7	52.3	0.8
	t検定	ns	ns	ns	ns

表3 各年の概観品質調査の結果(2)

年	試験区	玄米外観品質(%)		
		乳白粒	基部未熟粒	腹白背白粒
2010	水道区	8.7	39.0	5.3
	冷水区	7.3	35.3	3.7
	t検定	ns	ns	*
2011	水道区	13.8	5.0	3.0
	冷水区	13.3	5.3	2.9
	t検定	ns	ns	ns
2012	水道区	4.0	11.4	3.6
	冷水区	4.9	10.5	4.0
	t検定	ns	ns	ns
2013	水道区	13.3	12.5	3.2
	冷水区	13.7	14.9	3.9
	t検定	ns	ns	ns

(4)秋口にはため池水底に溜まった泥等の排出のために、ため池の水を落として清掃する作業を行うが、近年ではそれが行われなくなり、ため池水底のヘドロ状態が常態化しており、水質の悪化が懸念される。ため池深水層の水を利用するにあたり、深水層の水質に問題がないか、溶存酸素量についてのみ調査を行った結果について示す。

図7は2014年7月22日の溶存酸素の鉛直分布であるが、水深1mを超えてから水深3mまでの間で溶存酸素は急激に低下する。

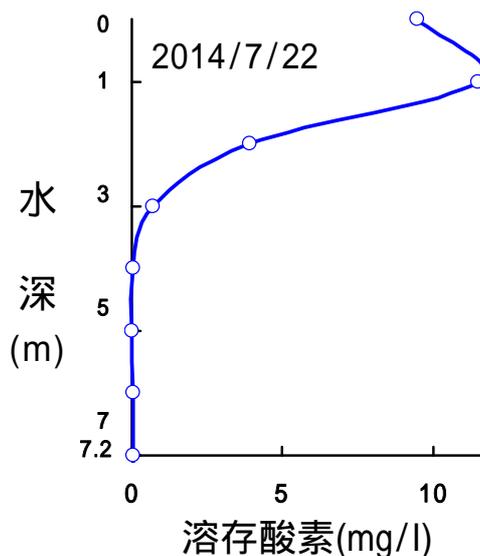


図7 鍛冶池の溶存酸素の鉛直分布

鍛冶池の樋門は水深5m付近にもあり、17.5程度の水温の水を流出させるが、この水温の水の溶存酸素量は0mg/lに近い。この水を池尻から水路へ放出した場合の溶存酸素量の水路各地点の分布を示したのが図8である。横軸は池尻から溶存酸素観測地点までの距離を示す。経路2が水深5m付近の水を池尻に落とした場合で、池尻に到達した時点で溶存酸素量は5mg/l、下流200mに達した時点ですでに12mg/lを超えていることがわか

る。また、経路1では約2mg/lの水を池尻に落としているが、池尻に到達した時点ですでに8mg/lを超え、下流各地点ではすべて8mg/l以上の値となっており、ため池深水層付近の低溶存酸素水のカンガイ水としての利用には問題がないことがわかる。

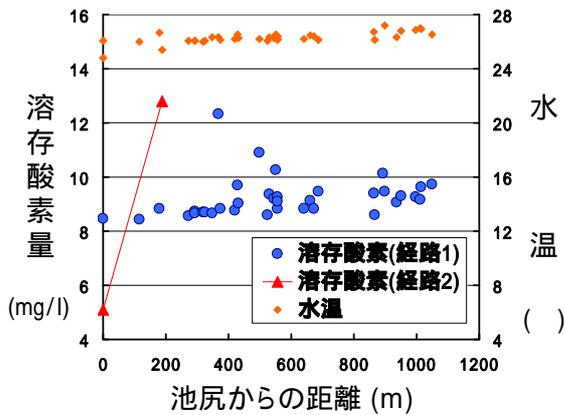


図8 溶存酸素量の水路内分布

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

松村伸二、諸隈正裕：気候資源としてのため池の水温特性と暑熱環境対策への活用、日本農業気象学会 2015 年全国大会、文部科学省研究交流センター(茨城県つくば市)、平成 27 年 3 月 16 日～20 日。

松村伸二：近年の気象災害と農業生産への影響について、平成 26 年度近畿中国四国農業試験研究推進会議作物生産推進部会(基調講演)、福山市生涯学習プラザ(広島県福山市)、平成 27 年 1 月 26 日。

松村伸二、諸隈正裕：登熟期の冷水処理と 26 年産玄米の外観品質について、2014 年度日本農業気象学会中国四国支部大会、山口大学農学部(山口県山口市)、平成 26 年 12 月 4 日～5 日。

松村伸二：暑熱環境対策としての自然冷熱源の利活用、日本作物学会四国支部(招待講演)、香川大学農学部(香川県三木町)、平成 26 年 11 月 26 日。

松村伸二：夏季における用水路のカンガイ水温の上昇について、日本農業気象学会 2014 年全国大会、北海道大学(北海道札幌市)、平成 26 年 3 月 17 日～19 日。

松村伸二、諸隈正裕：2013 年におけるコシヒカリの登熟期冷水処理と玄米の外観品質について、2013 年度日本農業気象学会中国四国支部大会、愛媛大学城北キャンパス(愛媛県松山市)、平成 25 年 12 月 5 日～6 日。

松村伸二：盛夏期におけるため池からの放

流水温と水路内水温の変動について、日本農業気象学会 2013 年全国大会、石川県立大学(石川県野々市市)、平成 25 年 3 月 27 日～29 日。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松村 伸二 (MATSUMURA, Shinji)
香川大学・農学部・准教授
研究者番号：60165868

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：