

熱帯塩水養殖池における下層高水温環境下の 水環境特性および熱特性に関する検討

Study on Water Environment and Heat Storage Characteristics under a High-Water Temperature Conditions in Salinity Aquaculture Ponds in Tropics

○尾崎 彰則*, パニタン カイウジャンタウィ**, モントン アノンポニヤスクル***,
原田 昌佳****, グエン ヴァン ティン*, 松元 賢*, 岡安 崇史****, 濱上 邦彦*****
*OZAKI Akinori, PANITAN Kaewjantawee, MONTON Anongponyoskul, HARADA Masayoshi,
NGUYEN Van Thinh, MATSUMOTO Masaru, OKAYASU Takashi, HAMAGAMI Kunihiko*

1. はじめに

熱帯特有の気象条件下にある塩水養殖池では、雨季の降雨条件および日射条件により、水温成層と塩分成層による複雑な成層状態が誘因する熱塩対流が発生し、水域中層から下層にかけて高水温状態が維持される可能性がある。この現象は、現象の応答として生じる水域内の生物学的および化学的動態に影響を及ぼし、水産疾病の発症を誘発する可能性があることから、養殖物の生産性および安全性の低下が懸念される。しかしながら、熱帯塩水養殖池における下層高水温については、既往の研究事例が皆無であり、現象理解が進んでいない。本研究では、熱帯塩水養殖池において下層高水温現象の現地観測を行い、下層高水温環境下の水環境特性および熱特性について検討した。

2. 観測概要

現地観測は、タイ・カセサート大学水産学部クーロンワン水産研究所が管理する実験用水産養殖池を実験水域とし、2018年6月1日～10月31日(雨季期間)の5か月間、気象環境および水環境の連続観測を行った。観測対象項目を Table 1 に示す。実験水域は、同程度のスケールの池 3 か所を用い、観測開始前に異なる塩分濃度条件を設定した (Fig. 1 参照)。なお、観測期間を通しての塩分調整および水位調整は、観測開始前の 1 回のみであり、実験開始後の水域内塩分濃度および水位は気象条件に依存する。

3. 下層高水温現象の観測結果

Fig. 2, Fig. 3 および Fig. 4 に下層高水温が観測された 8 月 18 日～25 日の日射量と雨量、各観測池の水温変化および塩分濃度鉛直分布を示す。Fig. 3 より、Pond C の 8 月 18 日～24 日にかけて、水域中層から下層の水温が高い状態が継続していることがわかる。本研究では、この状態を下層高水温と定義する。Fig. 2 より、Pond C で現象が確認された前日に、

Table 1 観測対象項目
Measurement items and conditions

環境条件	観測項目	観測条件
気象条件	気温 (°C)	10分間隔 (自動計測)
	湿度 (%)	
	風速 (m/s)	
	風向 (度)	
	日射量 (W/m ²)	
	雨量 (mm/10 mins)	
	大気圧 (hPa)	
水環境条件	水温 (°C)	10分間隔 (自動計測) H* = 0.0, 0.2, 0.3, 0.5, 0.6, 0.8, 0.9, 1.1, 1.2, 水面-0.05
	塩分濃度 (%)	10分間隔 (自動計測) H* = 0.1, 0.4, 0.7, 1.0, 水面-0.05
	水深 (m)	10分間隔 (自動計測)

H* = 計測機器固定水深、水面-0.05はフロートに設置 (可動式)

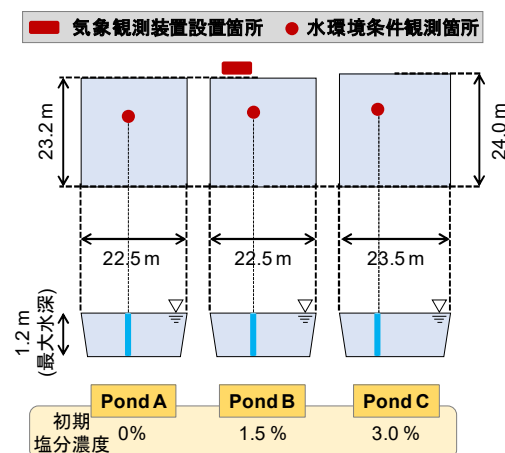


Fig. 1 観測対象水域条件
Scale and conditions of observation ponds

*九州大学熱帯農学研究センター *Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University*, ** カセサート大学水産学部クーロンワン水産研究所 *Klongwan Fisheries Research Station, Kasetsart University*, *** カセサート大学水産学部 *Faculty of Fisheries Kasetsart University*, **** 九州大学大学院農学研究院 *Faculty of Agriculture, Kyushu University*, *****岩手大学農学部 *Faculty of Agriculture, Iwate University*
キーワード：塩分成層, 水温成層, 熱塩対流

連続的な降雨（8月18日の24時間雨量=23.2mm）が生じており、この降雨が Pond C において、塩分濃度成層を形成したことが Fig. 4 より確認できる。特に、8月22日 Pond C の塩分濃度鉛直分布については、上層の低塩分層と下層の高塩分層の間に、塩分濃度勾配を有する中間層が存在する3層状態であることがわかる。熱塩対流の効果を応用して太陽エネルギーを回収することを目的としたソーラーポンドに関する研究によると、塩分濃度勾配を有する中間層が断熱効果を果たすことにより、下層高塩分層の蓄熱が進行するとされている⁽¹⁾。本研究による現地観測では、熱帯特有の降雨および日射条件が塩分濃度勾配を有する中間層を形成した結果、熱塩対流の影響により高水温状態が出現したと考えられる。

4. 水面伝達熱および水塊貯熱量

Table 2 に示す式および条件に従い、水面からの伝達熱 G と、水底から 0.7 m までの貯熱量の増減率を算出した結果を Fig. 5 に示す。なお、増減率は8月18日午前0時における各水域の貯熱量(Q_{w0})を基準としている。水面からの伝達熱は、各水域ともほぼ同様に推移しており、水面から供給された熱量はほとんど差異が見られない。一方、水塊貯熱量については、8月18日~23日にかけて、塩分を含む Pond B・C において、夜間の減少率が低く、水域からの放熱が抑制されていることがわかる。8月24日以降は、各水域ともに同様の振幅および増減率で推移しており、Fig. 4 の Pond C の塩分濃度鉛直分布が一様になっていることから、Pond C における蓄熱条件の消失に伴い下層高水温状態が解消されたことがわかる。

5. まとめ

以上、本研究による現地観測結果より、熱帯塩水養殖池における下層高水温現象は、降雨およびその後の熱状態によって形成される塩分濃度勾配層が夜間の放射冷却効果を減衰することにより、水域中層から下層に蓄熱が進行すると考えられる。したがって、熱帯塩水養殖池の下層高水温現象を回避するためには、降雨発生後の夜間における水管理が重要になると考えられる。

6. 謝辞

本研究は、カシオ科学試行財団研究助成（特別テーマ 代表者 尾崎彰則）および日本学術振興会科学研究費補助金（基盤 B 課題番号 18H02300 代表者 原田昌佳）により実施したことを付記し、謝意を表す。

参考文献：(1) John R. Hull, Carl E. Nielsen, Peter Golding, Salinity-Gradient Solar Ponds, CRC Press, (2) W. C. Swinbank Long - wave radiation from clear skies, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 89(381):339 - 348, 1963

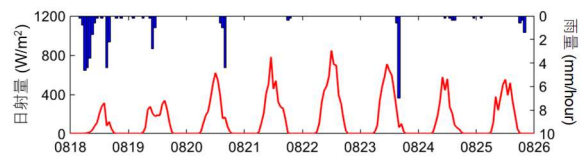


Fig. 2 8月18日~25日の日射と雨量
Solar rad. & rainfall during 18-25 August

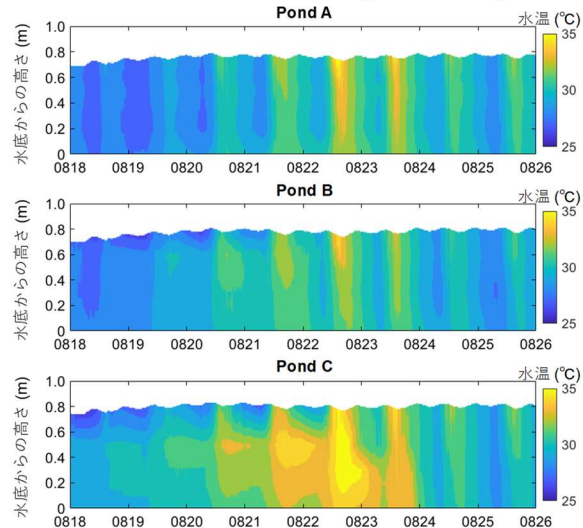


Fig. 3 8月18日~25日の水温変動
Water temp. variations during 18-25 August

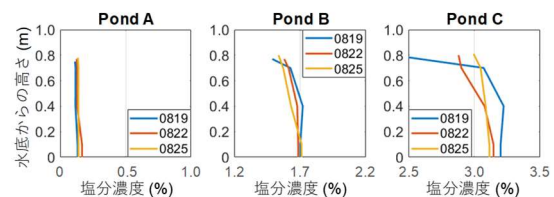


Fig. 4 下層高水温出現期間前後の
塩分濃度鉛直分布
Salinity distribution for vertical direction

Table 2 各熱量算定式
Equations for calculation of heat characteristics

$G = (1 - \alpha)S \downarrow + L \downarrow - L \uparrow - H - LE$		$Q_w = \int_0^H \rho c T dz$
G : 水面からの伝達熱 (W/m^2)	α : アルベド (=0.1)	
$S \downarrow$: 全天日射量 (W/m^2)	$L \uparrow$: 水面放射量 (W/m^2)	ρ : 密度 (kg/m^3)
$L \downarrow$: 大気放射量 (W/m^2)	\Rightarrow Swinbankの式 ⁽²⁾ により算定	c : 比熱 ($J kg^{-1} K^{-1}$)
H : 顕熱輸送量 (W/m^2)	\Rightarrow パルク法により算定	T : 水温 (K)
LE : 潜熱輸送量 (W/m^2)		H : 算定対象高さ (m)

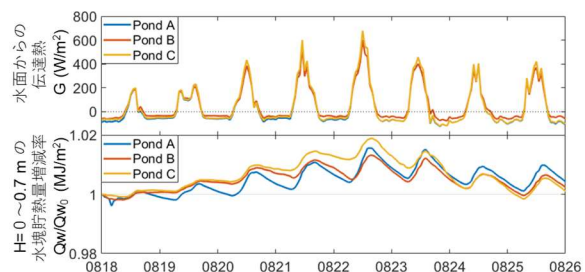


Fig. 5 水面からの伝達熱と水塊貯熱量増減率
Heat quantity from water surface and
stored in the water