

平成21年 5月25日現在

研究種目:基盤研究(C)

研究期間:2006~2008

課題番号:18510011

研究課題名(和文) 大気中二酸化炭素濃度の上昇が水生生物に与える慢性影響の検討

研究課題名(英文) Chronic effect of increasing atmospheric CO₂ concentration on aquatic organisms

研究代表者

石松 惇

長崎大学・環東シナ海海洋環境資源研究センター

研究者番号:00184565

研究成果の概要:

21世紀末に予測されるCO₂濃度環境の下で、海産甲殻類の一種イソスジエビの生残が大きく低下した。しかし、より高いCO₂環境下でも海産コペポダの一種*Acartia tsuensis*は生残・再生産に関してほとんど影響を受けず、甲殻類の中でもCO₂感受性が大きく異なることが明らかになった。さらに二枚貝の一種ムラサキガイの初期発生が高CO₂環境下で強く阻害された。これらの結果は、将来のCO₂増加による海洋酸性化が海洋生態系に負の影響を与える可能性を示している。

交付額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,300,000	0	2,300,000
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	390,000	3,990,000

研究分野:複合新領域

科研費の分科・細目:環境学・環境動態解析

キーワード:生物海洋・二酸化炭素生物影響・海洋酸性化

1. 研究開始当初の背景

大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度は、産業革命以前の280 ppmvからすでに約100 ppmv上昇しており、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)が2001年に発表した報告書によると、今世紀末には540ppmvから970 ppmvに達すると予想されている。CO₂は、水に非常に溶解しやすく、炭酸イオンの解離によって水域を酸性化させる(海洋酸性化、図1)。さらにCO₂は生体膜を容易に通

過し、体液を速やかに酸性化させるため、強酸等の添加による水域の酸性化よりもはるかに深刻な急性影響を水生生物に与える。CO₂をはじめとする温室効果ガスがもたらす温暖化の影響については、すでに広範な研究が開始されているにも関わらず、CO₂自体が地球生態系に及ぼす影響についての研究はほとんど進んでいない。

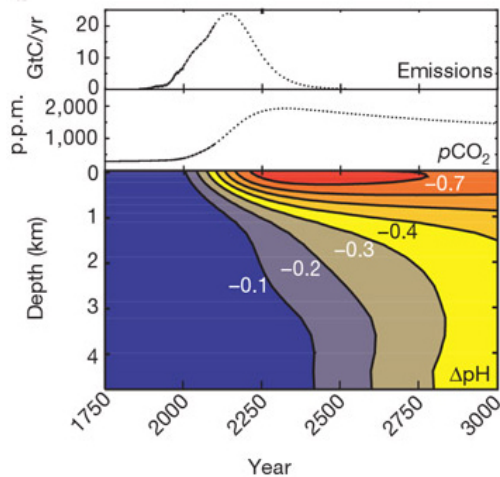


図1 1750-3000年の年間CO₂排出量(上)、大気中CO₂濃度(中)、海水の平均pH(下)。1750年と比べて、海水のpHはすでに0.1低下している(Caldeira & Wickett (2003), Nature, 425, 365より)

2. 研究の目的

CO₂が水生生物に及ぼす影響については、温暖化対策の一つとして実施が検討されているCO₂海洋隔離(CO₂を発生源から回収し、海洋中深層に隔離する試み)の生態系影響評価研究(Journal of Oceanography, 60巻4号に特集: Ishimatsu et al. (2004)研究業績の欄参照)があるが、これらの研究は数万ppmvのCO₂が深海生物に及ぼす急性影響の評価を中心として行われており、大気中CO₂の上昇が浅海生物に与える長期影響を予測する材料としての価値は低い。

本研究では、実験動物としてエビ類等を用い、近未来に予想されるCO₂濃度が成長・再生産などに及ぼす影響について検討する。CO₂は特に炭酸カルシウムからなる外骨格をもつ生物に強い影響を与える可能性が、サンゴなどを用いた実験により指摘されている(The Royal Society, Ocean Acidification due to Increased Atmospheric Carbon Dioxide, 2005)。甲殻類の外骨格も多量の炭酸カルシウム(カルサイト)を含むため、エビ類はCO₂感受性が高いことが予想される。多くの甲殻類は、魚類などの高次捕食者の重要な餌生物であり、またエビ類は重要な食料資源でもある。甲殻類をはじめとする海産生物に及ぼすCO₂の影響を明らかにすることが本研究の目的である。

3. 研究の方法

海水を将来予測されるCO₂濃度(1000~2380ppm)調整した空気曝気し、イソスジエビ、コペポダの一種 *Acartia tsuensis*、および

ムラサキイガイの幼生を飼育した。これらの生物の成長・生残および初期発生等について検討した。

4. 研究成果

【平成18年度】

イソスジエビ (*Palaemon pacificus*) を用いて、今世紀末に予想される大気中CO₂の最高濃度である1000 ppmのCO₂を含む空気に平衡させた海水で30週間飼育した。CO₂区の個体は最終生残率が55%と対照区90%より有意に低くなった ($p < 0.05$ log-rank test, 図2)。成長・日間摂餌量は両区間で有意差は認められなかった。雌の成長が抑制される傾向が認められた。実験終了時に測定した触覚長はCO₂で極端に短くなった(対照区 $165 \pm 14\%$ 、CO₂区 $54 \pm 22\%$ 、 t test, $p < 0.001$)。また対照区では全ての雌個体(N=6)が複数回抱卵したのに対し、CO₂区では5個体の雌中1個体が1回抱卵したのみであった。

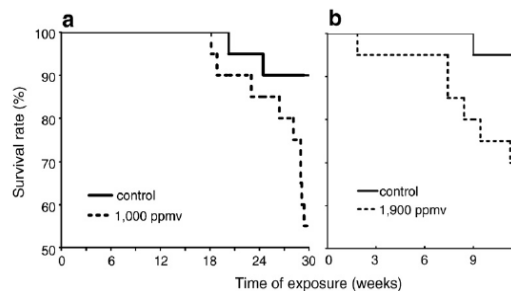


図2 CO₂ (左1000ppm、右1900ppm)曝露時のイソスジエビの生残率(業績⑥)

【平成19年度】

今年度は雌雄判別が可能な体長20mm程度の個体を用いて、CO₂長期曝露が抱卵率に与える影響についてさらに検討した。しかし、1500ppm実験では対照区の飼育に実験途中で問題がおき、28週目での生残率が最低で57%にまで低下したため、CO₂の影響について明確な影響を認めることができなかった。同時に行ったイソスジエビの初期発生に及ぼすCO₂影響実験では、1900ppm環境中で孵化した幼生の孵化率が低下する傾向が見られ、着底時の稚エビの体長が有意に小さくなる結果が得られた。過去2カ年の結果は、CO₂濃度の増加による海洋酸性化がエビ類の成長や再生産、初期発生に深刻な影響を与える可能性を示している。

【平成20年度】

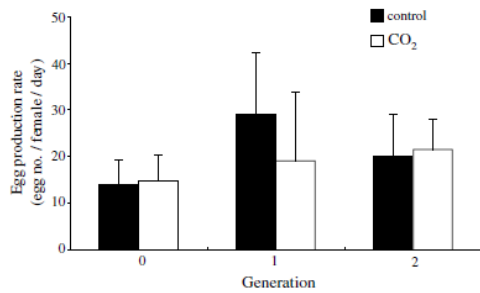


図3 高CO₂ (control 380, CO₂ +2000ppm) 条件下で2世代まで飼育した *Acartia tsuensis* の卵生産 (業績④)

コペポダの1種 (*Acartia tsuensis*) を3世代、高CO₂環境下 (PCO₂ 2380ppm) で飼育した。第1世代の個体 (現在のCO₂環境 (380 μ atm) で飼育した個体を2380ppm環境に移して飼育した個体)、およびCO₂環境下で得た卵から発育した第2・第3世代の、生残、体サイズ、発育速度を対照区の値と比較したところ、これらのパラメータには有意差が見られなかった。また、第1～3世代を通して卵生産および孵化率にも影響がなかった。これらの結果は、コペポダが他の海産無脊椎動物に比して、CO₂耐性が非常に高いことを示唆している。CO₂ (2000 ppm条件下で発生させたムラサキガイ (*Mytilus galloprovincialis*) は、原腸胚期までは対照区の個体と発生に違いが見られなかったものの、幼殻の生成が始まる担輪子幼生期に至って発生速度の遅延が見られた。CO₂区の担輪子は全ての個体が形態異常を呈していた。また殻長および殻高も対照区の個体と比較して有意に小さかった。これらの結果は、将来のCO₂濃度が及ぼす海洋酸性化が海産二枚貝類の初期発生に強い負の影響を与えることを示している。

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 9件)

- ① Kikkawa, T., T. Sato, J. Kita and A. Ishimatsu (2006) Acute toxicity of temporally varying seawater CO₂ conditions on juveniles of Japanese sillago (*Sillago japonica*). Mar. Poll. Bull., 52, 621-625.
- ② Kurihara, H., A. Ishimatsu and Y. Shirayama (2007) Effects of elevated seawater CO₂ concentration on the meiofauna. Journal of Marine Science and Technology//National Taiwan Ocean University, 15, 17-22.
- ③ Kurihara, H., S. Kato and A. Ishimatsu

(2007) Effects of increased seawater pCO₂ on the early development of the oyster *Crassostrea gigas*. Aquat. Biol. 1, 91-98.

- ④ Kurihara, H. and A. Ishimatsu (2008) Effects of high CO₂ seawater on the copepod (*Acartia tsuensis*) through all life stages and subsequent generations. Mar. Poll. Bull., 56, 1086-1090.
- ⑤ Kikkawa, T., Y. Watanabe, J. Kita and A. Ishimatsu (2008) Acute CO₂ tolerance limits of juveniles of three marine invertebrates, *Sepia lycidas*, *Sepioteuthis lessoniana*, and *Marsupenaeus japonicus*. Plankton & Benthos Res., 3: 184-187.
- ⑥ Kurihara, H., M. Matsui, H. Furukawa, M. Hayashi and A. Ishimatsu (2008) Long-term effects of predicted future seawater CO₂ conditions on the survival and growth of the marine shrimp *Palaemon pacificus*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 367, 41-46.
- ⑦ Kurihara, H. (2008) Effects of CO₂-driven ocean acidification on the early developmental stages of invertebrates. Mar. Ecol. Prog. Ser., 373:275-284.
- ⑧ Ishimatsu, A., M. Hayashi and T. Kikkawa (2008) Fishes in high-CO₂, acidified oceans. Mar. Ecol. Prog. Ser., 373:295-302.
- ⑨ Kurihara, H., T. Asai, S. Kato and A. Ishimatsu (2008) Effects of elevated pCO₂ on the early development of the mussel *Mytilus galloprovincialis*. Aquat. Biol. 4: 225-233.

[学会発表] (計 37件)

- 1) Ishimatsu, A., M. Hayashi, T. Kikkawa and H. Furukawa (2006) Effect of carbon dioxide on marine animals. Jimei University, China, March 22.
- 2) 栗原晴子・石松 惺 (2006) 大気中二酸化炭素の増加が海産無脊椎動物に及ぼす影響 1. 初期発生。日本水産学会、3月29日～4月2日、高知大学。
- 3) 古川 博子・林 正裕・石松 惺 (2006) 大気中二酸化炭素の増加が海産無脊椎動物に及ぼす影響 2. 成長。日本水産学会、3月29日～4月2日、高知大学。
- 4) 吉川貴志・佐藤 徹・喜田 潤・石松 惺 (2006) 二酸化炭素の海洋隔離に伴う魚類影響 1. 非常濃度二酸化炭素暴露による致死影響。日本水産学会、3月29日～4月2日、高知大学。
- 5) 林 正裕・熊谷 恵美・新井 聡子・吉川 貴志・喜田 潤・石松 惺 (2006) 二酸化炭素の海洋隔離に伴う魚類影響

2. 深海魚類に与える生理学的影響。日本水産学会、3月29日～4月2日、高知大学。
- 6) Ishimatsu, A., M. Hayashi, H. Kurihara and T. Kikkawa (2006) Effects of CO₂ on marine animals. April 13, Tunghai University, Taiwan.
 - 7) Ishimatsu, A., M. Hayashi, T. Kikkawa and J. Kita (2006) Effects of CO₂ Ocean Sequestration on Marine Animals. The 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE 2006), June 4-9, Hamburg.
 - 8) 栗原晴子・松井正明・古川博子・石松惇 (2006) 大気CO₂濃度の増加が海産生物に及ぼす影響。日本環境学会、6月17日～18日、島根大学。
 - 9) 石松 惇・林 正裕・熊谷 恵美・新井 聡子・吉川 貴志・喜田 潤 (2006) CO₂ 海洋隔離が魚類に及ぼす影響。日本環境学会、6月17日～18日、島根大学。
 - 10) 喜田 潤・渡辺雄二・白山義久・吉川貴志・林正裕・石松惇(2006) 生物個体への影響は？(急性影響について)。日本海洋学会、9月26日～28日、名古屋大学東山キャンパス。
 - 11) 栗原晴子・林 正裕・石松 惇(2006) 大気中CO₂濃度の増加による海水の酸性化が海産カイアシ類の生活史へ及ぼす影響。日本プランクトン学会・ベントス学会合同大会、9月28日～10月1日、広島県情報プラザ。
 - 12) Ishimatsu, A., H. Kurihara, M. Hayashi, and T. Kikkawa (2006) Effect of carbon dioxide on marine animals: Ocean acidification due to atmospheric CO₂, and CO₂ storage in deep sea. International Conference of Ecophysiology in Marine Organisms, October 3-5, National Taiwan Ocean University, Taiwan (招待講演)。
 - 13) 松井正明・古川博子・栗原晴子・林 正裕・石松 惇(2006) 大気中CO₂の増加がイソスジエビの成長・生残に与える影響。日本甲殻類学会、10月13日～15日、北海道大学水産学部。(ベストポスター賞受賞)
 - 14) Ishimatsu, A., M. Hayashi, T. Kikkawa and J. Kita (2006) Physiological approach to assess impacts of CO₂ ocean sequestration on marine animals. 日本船舶海洋工学会、11月16-17日、神戸国際会議場。
 - 15) Kurihara, H., M. Matsui, H. Furukawa, M. Hayashi and A. Ishimatsu (2007) Long-term effects of high CO₂ seawater exposure on a shrimp *Palaemon pacificus*. International Conference on Ecophysiology of Marine Organisms 1月9-11日、香港大学。
 - 16) Kurihara, H., S. Katoh, Y. Shirayama and A. Ishimatsu (2007) Effects of ocean acidification on the early life stages of calcified marine organisms. American Society of Limnology and Oceanography, Aquatic Sciences Meeting、2月4-9日、サンタフェ, USA。
 - 17) 栗原 晴子・加藤 庄司・松井 正明・石松 惇 (2007)大気CO₂濃度の増加による海洋酸性化が生物に与える影響。日本生態学会、3月19-23日、愛媛大学。
 - 18) 栗原 晴子・加藤 庄司・石松 惇 (2007)大気CO₂濃度増加による海洋酸性化がマガキの初期発生に与える影響。日本水産学会春季大会、3月27-31日、東京海洋大学。
 - 19) 石松 惇 (2007) CO₂海洋隔離による生物への影響。海洋理工学会、5月17日、(独)海洋研究開発機構東京事務所 (招待講演)。
 - 20) Kurihara, H., Kato S. Matsui M. and Ishimatsu A. (2007) The effects of rising seawater CO₂ on marine zooplankton. 4th International Zooplankton Production Symposium. 5月28日～6月1日、広島国際会議場。
 - 21) Kurihara, H., S. Kato and A. Ishimatsu (2007) Effects of increasing seawater pCO₂ on calcified marine organisms. 21st Pacific Science Congress, 6月12-18日, Okinawa Convention Center.
 - 22) Ishimatsu, A., H. Kurihara, M. Matsui, H. Furukawa, and M. Hayashi (2007) Long-term effects of increased pCO₂ on the marine shrimp, *Palaemon pacificus*. 21st Pacific Science Congress, 6月12-18日, Okinawa Convention Center.
 - 23) Ishimatsu, A., H. Kurihara, M. Matsui, H. Furukawa, and M. Hayashi (2007) The effects of rising seawater CO₂ on marine animals. 7月2日 Australian Antarctic Division, Tasmania, Australia.
 - 24) 栗原晴子、浅井貴匡、加藤庄司、石松惇 (2007) 海水CO₂濃度増加がCaCO₃生物に与える影響ー貝類(マガキ/ムラサキイガイ)の初期発生への影響ー。日本ベントス・日本プランクトン学会合同大会、9月21-24日、横浜市立大学。
 - 25) Kurihara, H., M. Matsui, T. Asai, S. Kato and A. Ishimatsu (2007) Seawater chemistry change and marine calcifiers. The 6th International Workshop on the Oceanography and Fisheries Science of the East China Sea, November 3-5, 長崎大学

- 26) Ishimatsu, A., T. Kikkawa, M. Hayashi and Y. Kojima (2007) Effect of CO₂ on marine fish: ocean acidification and ocean sequestration. The 6th International Workshop on the Oceanography and Fisheries Science of the East China Sea, November 3-5, 長崎大学
- 27) Ishimatsu, A. (2008) Effects of CO₂ ocean sequestration on deep-sea animals. Oceans'08 MTS/IEEE Kobe-Techno-Ocean '08 (OTO'08), April 8-11, Kobe
- 28) Ishimatsu A., and H. Kurihara (2008) Impacts of ocean acidification by increasing CO₂ on marine animals. The 10th Joint Symposium of Cheju National University and Nagasaki University on Science and Technology, June 5-6, Cheju National University.
- 29) Ishimatsu, A., and H. Kurihara (2008) Short- and long-term impacts of CO₂ ocean sequestration on marine animals. Western Pacific Geophysics Meeting, Cairns, Australia, 29 July - 1 August 2008. (招待講演)
- 30) 栗原晴子・殷瑞・石松惇(2008) 大気CO₂濃度増加による酸性化及び温暖化がウニの生殖生理に与える影響。9月4-7日、日本ベントス学会日本プランクトン学会合同大会、熊本県立大学。
- 31) 石松 惇・栗原晴子(2008) 海洋酸性化が沿岸生物に及ぼす影響。日本水産学会九州支部例会「九州沿岸域における漁場環境保全の現状と展望」、9月27日、長崎大学水産学部。
- 32) Kurihara, H., R. Yin and A. Ishimatsu (2008) Reproductive Physiology of sea urchin in a high-CO₂ world. The Ocean in a High-CO₂ world II, Oct. 6-9, Musee Oceanographique, Monaco.
- 33) Ishimatsu, A., M. Hayashi and Y. Kojima (2008) Effects of high CO₂ on deep-sea fishes. The Ocean in a High-CO₂ world II, Oct. 6-9, Musee Oceanographique, Monaco.
- 34) Ishimatsu, A., H. Kurihara, R. Yui and T. Asai (2009) Coastal marine animals in high CO₂, acidified oceans: impacts on early development, growth and reproduction. The 11th Pacific Science Inter-Congress, Mar. 2-6, Hilton Hotel, Tahiti.
- 35) 栗原晴子・川口 創・石松 惇・殷 瑞・浅井貴匡・福田適子(2009) 海洋酸性化が水産生物にもたらす影響。日本水産学会春季大会、3月26-31日、東京海洋大学。
- 36) 浅井貴匡・栗原晴子・石松 惇(2009) 海洋酸性化が海産二枚貝に及ぼす影響。日本水産学会春季大会、3月26-31日、東京海洋大学。
- 37) Yin, R., H. Kurihara and A. Ishimatsu (2009) Synergistic effects of increased carbon dioxide and temperature on gonadal development and physiological status of sea urchin. 日本水産学会春季大会、3月26-31日、東京海洋大学。
- [図書] (計 1 件)
- ① 喜田 潤・渡辺雄二・白山義久・吉川貴志・林 正裕・石松 惇(2007)海洋生物に及ぼすCO₂海洋隔離の急性影響。月刊海洋、39, 383-388.
- [産業財産権]
- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)
- [その他]
- ① Ishimatsu, A., M. Hayashi, T. Kikkawa and J. Kita (2006) Effects of CO₂ ocean sequestration on marine fish. Proceedings of 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. June 4-9 2006, Hamburg, Germany.
- ② Ishimatsu, A., T. Kikkawa, M. Hayashi and J. Kita (2006) Physiological approach to assess impacts of CO₂ ocean sequestration on marine animals. 日本船舶海洋工学会講演資料集, p3-4.
- ③ 石松 惇・林 正裕・吉川貴志・喜田 潤・薛 自求・渡辺雄二(2007) CO₂海洋隔離による生物への影響。海洋理工学会平成19年度春季大会講演論文集、p11-13
- ④ Kurihara, H., M. Matsui, T. Asai, S. Kato and A. Ishimatsu (2007) Seawater chemistry change and marine calcifiers. Proceedings of the 6th International Workshop on the Oceanography and Fisheries Science of the East China Sea. Nov. 3-5, Nagasaki University, pp. 88-92.
- ⑤ Ishimatsu, A., T. Kikkawa, M. Hayashi and Y. Kojima (2007) Effect of CO₂ on marine fish: ocean acidification and ocean sequestration. Proceedings of the 6th International Workshop on the Oceanography and Fisheries Science of the East China Sea. Nov. 3-5, Nagasaki University, pp.93-99.
- ⑥ Ishimatsu, A., Y. Kojima and M. Hayashi (2008) Effects of CO₂ ocean sequestration on deep-sea animals. OCEANS'08 MTS/IEEE KOBE-TECHNO-OCEAN '08, April

8-11, Kobe. Volume , Issue , 8-11 April
2008 Page(s):1 – 4

- ⑦ Ishimatsu, A., H. Kurihara, R. Yin, M. Matsui, S. Katoh and T. Asai (2008)
Effects of ocean acidification due to high CO₂ on coastal marine animals.
Proceedings of the 5th World Fisheries Congress, Oct. 22-24, Yokohama.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石松 惇

長崎大学・環東シナ海海洋環境資源研究センター・教授

研究者番号：00184565

(2) 研究分担者

栗原 晴子

長崎大学・環東シナ海海洋環境資源研究センター・プロジェクト研究員

研究者番号：40397568

(3) 連携研究者