

気候変動と海洋生物資源

Climate change and marine biological resources

藤井賢彦*

1. はじめに

海洋は温室効果ガスの増加に伴う過剰な温室効果によって地球上に蓄積された熱の9割¹⁾、主要な温室効果ガスであるCO₂の1/4²⁾を吸収してきた。しかし、その海洋が近年、悲鳴を上げている兆候が世界中で見られる。

日本人が1人あたりの年間CO₂排出量を10 t-CO₂³⁾とすると、このうちの3.1 t-CO₂程度は森林等の陸上生態系、2.3 t-CO₂程度は海洋にそれぞれ吸収され、残りの4.6 t-CO₂程度が大気中に残留する。この、海洋に吸収されたCO₂が海洋酸性化、大気中に残留したCO₂が地球温暖化の主要な原因となっている。

人間活動に伴って排出されるCO₂をはじめとする温室効果ガスが気候変動の主因であり、かつ気候変動が海洋生態系や人間社会に深刻な影響を及ぼしているのであれば、対策を講じる必要があるのは明らかである。その際に求められるのは、現状を正しく把握し、将来を高い精度で予測し、得られた科学

的根拠に基づいた対策を適正かつ迅速に講じていくことである。日本近海は世界の中でも高い生物多様性、生物生産性、生態系サービスを擁しており、また海洋において最も顕著な気候変動影響の一つである水温上昇も世界平均の2倍程度の速度で進行している⁴⁾。また、海洋環境の変化には世界的な気候変動だけでなく局所的な人間活動も影響するが、日本は大河川が少ないこと、環境規制が比較的厳しいことから、諸外国の人口密集地域に比べると局所的な人間活動が沿岸域に及ぼす影響が相対的に小さく、日本沿岸は気候変動影響を検出しやすい海域といえる。そのため、日本近海を対象とした気候変動影響に関する研究成果は、今後も進行する気候変動に対して対策を講じていく上でも、日本のみならずアジアをはじめとする諸外国で今後、同様の取り組みを行っていく上でも、少なからず参考になるとと思われる。

気候変動が海洋生物資源に及ぼす影響は多岐にわたり、多くの報告や予測に関する成果が公表されている。中でも、地球温暖化、海洋酸性化、貧酸素化の3つのハザード⁵⁾は世界的で起こっており、また今後、人為起源CO₂の排出をどの程度削減していくかによって数十年後の様相が大きく変わるため、世界中で対策が求められる。これらの現象は単独に起こっているわけではなく、複雑に相互作用している⁵⁻⁸⁾(図1)。本稿では、それぞれの現象が単独あるいは複合的に海洋生物資源に及ぼす影響について紹介する。

2. 地球温暖化

地球温暖化が海洋生物資源に及ぼす影響として、長期的な傾向である水温上昇や海面上昇、数日から

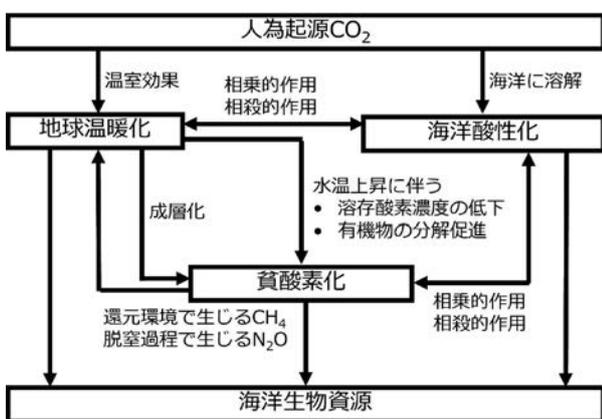


図1 人為起源CO₂を介した地球温暖化・海洋酸性化・貧酸素化が海洋生物資源に及ぼす相互作用の概念図(藤井ら(2021)⁶⁾、藤井(2021)⁷⁾、藤井(2022)⁸⁾の図を改変)

*北海道大学大学院地球環境科学研究院 准教授

数年にわたって急激な水温上昇が発生する「海洋熱波」⁹⁾、そして暴風雨等の極端気象の増大に伴う陸域から河川を介した淡水・物質流入過程の変化等が考えられる。

海洋生物の多くは変温動物であり、己にとって好適な水温環境で生育・生息している。そのため、水温環境が変わると、生物の生息・生育域や生態系機能も変化する。水温は最も基本的な環境因子であり、多くの海域で計測されているので、海洋生物資源の水温影響に関する研究報告例は比較的多い。

長期的な水温上昇傾向に伴い、沿岸生物の生育・生息域が高緯度に移動することが知られている。日本近海の多くは温帯に属するが、近年、温帯域に熱帯・亜熱帯性の海洋生物が加入する、温帯の「熱帯化」¹⁰⁾と呼ばれる現象が報告されている。例えば、造礁サンゴの本来の生息域は熱帯・亜熱帯であるが、近年の水温上昇傾向に伴い、温帯域でも生息に好適な水温環境が生まれたことにより、生息域が高緯度側に拡大している¹¹⁾。それに応じて、チョウチョウオ類等、その生活をサンゴ礁に依存する熱帯・亜熱帯生物もその生息域を拡大している¹²⁾。海藻・海草に関しても、水温上昇に伴い、温帯域では在来種の衰退や、南方種やサンゴ群集への遷移が報告されている¹³⁾、¹⁴⁾。亜寒帯域においても、コンブ類等、寒海性の海藻の衰退が報告されている¹⁵⁾。いずれも、今後も続く現象と見られ、将来予測も行われている。

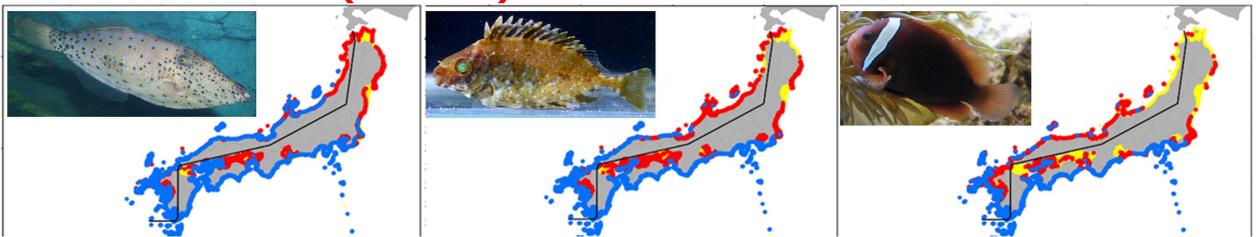
その多くの結果が、CO₂をはじめとする温室効果ガスを大幅に削減しない限り、沿岸生態系や、水産業や観光業等を通じてその恩恵を受けている社会に深刻な影響を及ぼすこと、その影響は今後の温室効果ガスの大幅削減で大きく緩和できることを示唆している^{16)~20)} (図2)。

3. 海洋酸性化

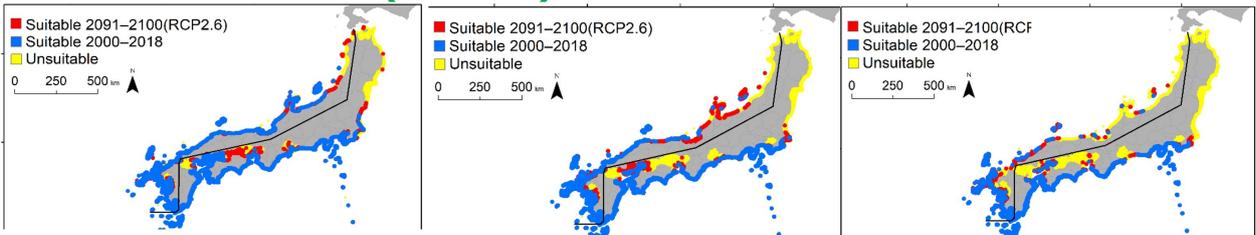
海洋に吸収された人為起源CO₂は海水と反応して水素イオンを発生させ、pHを低下させる。つまり、海水中のCO₂が増えれば増えるほど、海水が元々持っている弱アルカリ性の性質は徐々に中性あるいは酸性の方向に変化する。この現象を海洋酸性化と呼ぶ。酸性化が進行すると海水中の炭酸イオンが減少するので、炭酸カルシウムの殻や骨格を持つ海洋生物（以下、石灰化生物と呼ぶ）は殻や骨格を形成しづらくなる。また、多くの石灰化生物は幼生期において酸性化に対して特に脆弱であることがわかっている²¹⁾。

中深層のCO₂濃度が高い海水が沿岸湧昇で表層に供給されやすい米国太平洋北西岸では、海洋酸性化の影響と見られる養殖マガキ幼生の大量死²²⁾や、アメリカイチョウガニの後期幼生（メガロパ幼生）の外骨格の溶解や感覚器官の損傷²³⁾が報告されており、いずれも重要な水産対象種であることから社会の関心を集めている。日本近海では海洋生物に対

有毒魚（ソウシハギ） 草食魚（アイゴ） 観賞魚（ハマクマノミ） 温室効果ガス高排出(RCP8.5)シナリオの結果



温室効果ガス大幅削減(RCP2.6)シナリオの結果



(写真提供: 大阪・海遊館)

■: 現在の生息場所 ■ + ■: 今世紀末の生息適地 ■: 非生息地

図2 日本沿岸の熱帯性の有毒魚、草食魚、観賞魚の現在の生息場所と、温室効果ガスの高排出 (RCP8.5) シナリオ (上) と大幅削減 (RCP2.6) シナリオ (下) に基づく今世紀末の生息適地 (Sudo et al. (2022)¹⁹⁾ の図を改変)。カラーの図は北海道大学プレスリリース²⁰⁾を参照。

する海洋酸性化影響を直接示唆した報告例はまだないが、海域や時期によっては pH 等の海洋酸性化指標の値が石灰化生物の幼生期にとって危険水準となる閾値を下回る値が連続観測の結果から報告されている。今後はそのような海域や時期で石灰化生物の幼生の形態観察等を通じて、海洋酸性化影響の発現の有無を調べる必要がある。

地球温暖化同様、海洋酸性化の将来予測も行われており、日本近海を対象にした多くの研究結果が、今後、人為起源 CO₂ の大幅削減を行わないと温暖化との複合影響によりサンゴの生息適地が消滅する^{24), 25)}、北海道の重要な水産資源であるホタテガイやエゾバフンウニの生息が脅かされる^{26), 27)} (図 3)、といった可能性を示唆している。

4. 貧酸素化

地球温暖化にともなう水温上昇によって海水中の酸素の溶解度が下がり、酸素濃度が低下する。また、有機物の分解や呼吸に伴い酸素消費が促進される。さらに、水温上昇によって暖かくて密度の低い海水が表層に留まって成層化しやすくなるため、大気との気体交換で供給される酸素が海洋内部に届きにくくなる²⁸⁾ (図 1)。これらは世界規模で起こっている貧酸素化である。実際、日本近海の広い海域でも長期的な貧酸素化傾向が報告されている²⁹⁾。また、米国西海岸では中深層の酸素濃度が低い海水が沿岸湧昇によって表層付近にもたらされたことによる沿岸域の底魚の大量死が報告されている³⁰⁾。

一方、沿岸域でこれまでに社会問題として注目されてきたのは、むしろ局所的な人間活動に起因する貧酸素化であった。日本でも高度成長期以降、陸域からの栄養塩の過剰な流入が、沿岸域の表層での植物プランクトンの光合成を促し、生成された有機物が沈降して下層で分解する際に酸素が消費されることで生じる、局所的な貧栄養化が卓越していた³¹⁾。その後、水質環境規制が厳しくなったことで局所的な貧酸素化は大幅に緩和された。今後、日本では人口の減少と共に人間活動も縮小することが見込まれており、日本の沿岸域では水温上昇に伴う世界規模の貧酸素化の影響が相対的に高まっていくと予想される。

光合成は CO₂ を消費して酸素を生成する過程であり、呼吸や有機物の分解はその逆の過程であることから、海水中の CO₂ 濃度の増加と溶存酸素濃度の減少は概ね同期して進行する。よって、貧酸素化も、地球温暖化や海洋酸性化と合わせて考えていく必要がある。実際、地球温暖化や海洋酸性化との複合影響により海産生物に対する悪影響がより広範に拡大することが懸念されている³²⁾。

5. 対策

気候変動影響に対する対策は、大まかには、影響の原因を根治療法的に軽減する緩和策と、影響は当面続くとして影響そのものに対症療法的に対処する適応策に区別される。

重要な緩和策として温室効果ガスの排出削減が挙

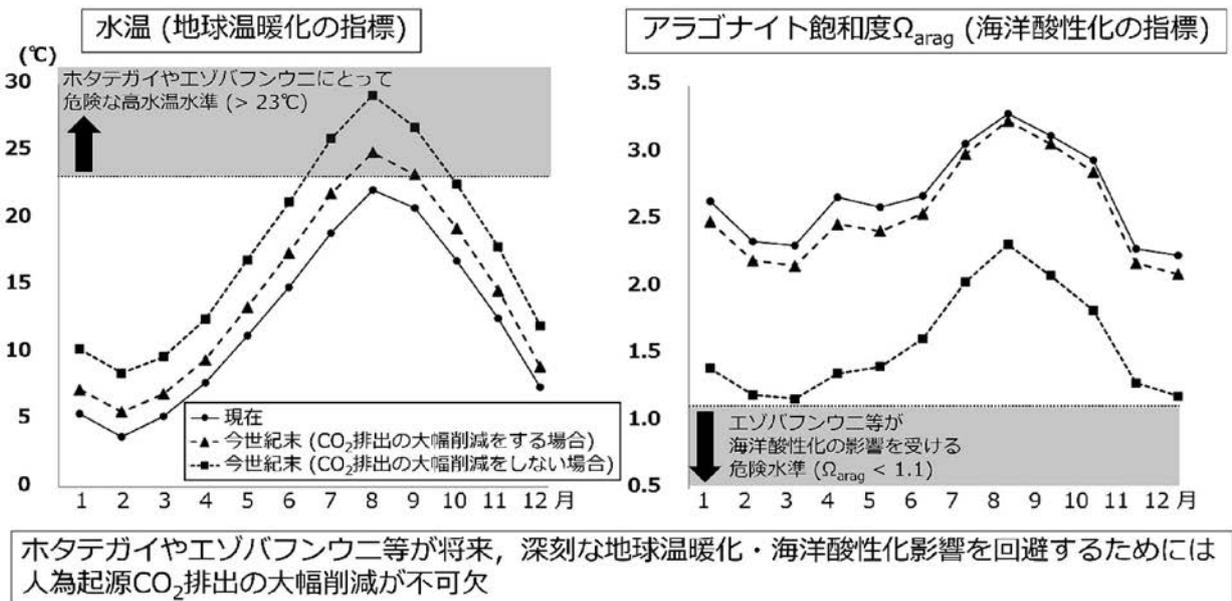


図 3 北海道日本海側を対象にした、ホタテガイやエゾバフンウニの温暖化・酸性化影響の将来予測結果 (藤井 (2022)⁸⁾ の図を改変)。

げられる。一方、CO₂以外の温室効果ガスの削減は地球温暖化や貧酸素化を緩和するが、海洋酸性化の根本的な解決にはならない。そのため、海洋生物資源に対する気候変動影響の緩和策として最も重要なのが人為起源CO₂の削減であり、そのための最も効果的な対策の一つが、燃焼に伴ってCO₂を排出する化石燃料を、CO₂排出の少ない他のエネルギーに転換することである。国による2020年10月の「2050年カーボンニュートラル宣言」以降の社会的な緩和策への関心の高まりもあり、発電時のCO₂排出が少ない再生可能エネルギーの導入が加速している。地域資源である再生可能エネルギー導入の便益は他にも、地域経済の活性化や分散型エネルギーシステムの構築への貢献等、多岐に渡る。よって、根本的には、太陽光や太陽熱を含む再生可能エネルギーの適正な推進は大に行っていくべきものである。一方、再生可能エネルギーの急速な導入拡大の結果、生態系保全との間のコンフリクト（軋轢）が懸念される事例も報告されており、生態系に最大限配慮しつつ再生可能エネルギーの導入を進めていくためには、NEXUS（連環）アプローチ^{33)~36)}のような考え方も必要となってくる。

温帯域の「熱帯化」や、亜寒帯域の「温帯化」は、これまではその地域で見掛けることの少なかった海洋生物資源の加入をもたらす^{19), 20)}。近年、「熱帯化」による熱帯性・亜熱帯性の有毒魚の目撃事例が増えているが、今後も温帯域でこの傾向は続くこと認識した上で、見慣れない有毒魚をうっかり触ったり食べたりしないよう、子供を含む地域のステークホルダーに対して十分な注意喚起をすることも、重要な適応策である。また、草食魚の加入による海藻・海草の食害は藻場のさらなる衰退に繋がるため、防護ネットを張る等の食害対策を講じることも有効である。一方、観賞魚の加入は、ダイバー等にとっては魅力的であり、地域の海洋観光・レジャーの資源として有効活用できる可能性がある。温帯性のブリの水揚げが近年、北海道で増加している³⁷⁾ことも亜寒帯域の「温帯化」の一例として挙げられるだろう。これまで北海道にはブリの食文化は根付いていなかったが、最近では北海道近海で水揚げされたブリの切り身が普通に北海道のスーパーマーケットにも並ぶようになり、ブランド化して高値で販売されるものも出てきた。このように、気候変動影響に応じて食文化や海洋観光・レジャーの対象とする海洋水産資源を柔軟に変えていくことも重要な適応策である。

沿岸域の水産業には、漁獲や養殖の場所・対象種・形態を変更する、新たに加えた馴染みのない魚でも食べ方を工夫する、といった適応策が求められる。その他、石灰化生物の海洋酸性化影響は生物種や成長段階によって異なり、特に幼生期に脆弱であることから、CO₂濃度が低い好環境を人工的に用意し、幼生期だけでもその環境下で飼育するといった適応策も考えられる^{8), 36), 38)~40)}。

気候変動対策を着実に進めていく必要性は世界共通だが、その優先順位は国・地域によって異なる。貧酸素化にしても富栄養化等、局所的な要因が主たる原因なのであれば、まずはその要因を軽減する対策を進めるのが先決である。また、人為起源CO₂の排出量は比較的少ないにも関わらず、将来、海面上昇により国土が消失することが懸念される太平洋島嶼国等の国・地方では、緩和策よりも高潮・高波等への対策（社会インフラの整備等）が優先されて然るべきだろう。

6. おわりに

近年、パリ協定や国連持続可能な開発目標（SDGs）、海洋プラスチック問題等をめぐる国際的な動向や、国内の政権の意向等を踏まえた緩和策と適応策の優先順位の移り変わり、加えて近年の予想だにできなかった新型コロナウイルスの長期的影響等を受けて、気候変動問題に対する社会の相対的な関心度も刻々と変化している。しかし、本稿で紹介したように、地球温暖化・海洋酸性化・貧酸素化対策の第一はあくまでも人為起源CO₂の大幅削減である。地球の平均気温上昇を産業革命前に比べて2℃より充分低く抑え、1.5℃に抑えるというパリ協定の目標達成を目指す場合、今後、CO₂をはじめとする温室効果ガスを排出する余地が殆ど残されていない^{32), 41)}ため、温室効果ガスの大幅削減をできるだけ早急に実現していく必要がある。

一方、地球温暖化によって一旦暖められた海洋は、その莫大な熱容量ゆえ、将来のCO₂排出シナリオにかかわらず、気候変動の影響が今後数十年は続くこと懸念される。そこで、上記の緩和策と並行して、本稿で紹介した適応策も合わせて実施していく必要がある。さらに、世界規模の気候変動影響との複合要因になっている局所的な環境ストレスを軽減する対策を各沿岸域で講じ、将来、気候変動影響がより甚大になることを少しでも回避する努力をすることが、将来世代につけ回ししないためにも重要である。

参考文献

- 1) L., Cheng, L., K. E. Trenberth, J. Fasullo, T. Boyer, J. Abraham, and J. Zhu, Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015, *Sci. Adv.*, **3**, e1601545 (2017).
- 2) P. Friedlingstein, M. O'Sullivan, M. W. Jones *et al.*, Global Carbon Budget 2020, *Earth Syst. Sci. Data*, **12**, 3269-3340 (2020).
- 3) 環境省 (accessed February 12 2022), https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/results/JNGI2019_2-1.pdf
- 4) 気象庁 (accessed February 12 2022), https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/sougou/html_vol2/1_1_3_vol2.html
- 5) N. Gruber, P. W. Boyd, T. L. Frölicher, and M. Vogt, Biogeochemical extremes and compound events in the ocean, *Nature*, **600**, 395-407 (2021).
- 6) 藤井賢彦, 芳村毅, 小埜恒夫, 海洋酸性化・貧酸素化・地球温暖化の海洋生態系への影響評価, *月刊海洋*, **53** (6), 299-303 (2021).
- 7) 藤井賢彦, 北海道沿岸域における地球温暖化・海洋酸性化・貧酸素化指標の連続観測と将来予測, *環境と測定技術*, **48** (12), 19-30 (2021).
- 8) 藤井賢彦, 気候変動が日本沿岸の海洋生態系や社会に及ぼす影響, *水環境学会誌*, **45** (3), 83-87.
- 9) T. Miyama, S. Minobe, and H. Goto, Marine heatwave of sea surface temperature of the Oyashio region in summer in 2010-2016. *Front. Mar. Sci.* **7**, 576240. doi : 10.3389/fmars.2020.576240 (2021).
- 10) A. Vergés, P. D. Steinberg, M. E. Hay, A. G. B. Poore, A. H. Campbell *et al.*, the tropicalization of temperate marine ecosystems : climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts, *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences* **281** (1789), 20140846. doi : 10.1098/rspb.2014.0846 (2014).
- 11) H. Yamano, K. Sugihara, and K. Nomura, Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L04601, doi : 10.1029/2010GL046474 (2011).
- 12) Y. Nakamura, D. A. Feary, M. Kanda, and K. Yamaoka, Tropical fishes dominate temperate reef fish communities within western Japan, *PLoS One*, **8** (12), e81107, doi : 10.1371/journal.pone.0081107 (2013).
- 13) K. Tanaka, S. Taino, H. Haraguchi, G. Prendergast, and M. Hiraoka, Warming off southwestern Japan linked to distributional shifts of subtidal canopy - forming seaweeds, *Ecology and Evolution*, **2** (11), 2854-2865, doi : 10.1002/ece3.391 (2012).
- 14) N. H. Kumagai, J. García Molinos, H. Yamano, S. Takao, M. Fujii, and Y. Yamanaka, Ocean currents and herbivory drive macroalgae-to-coral community shift under climate warming, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **115** (36), 8990-8995, doi : 10.1073/pnas.1716826115 (2018).
- 15) K. Sudo, K. Watanabe, N. Yotsukura, and M. Nakaoka, Predictions of kelp distribution shifts along the northern coast of Japan, *Ecological Research*, **35** (1), 47-60, doi : 10.1111/1440-1703.12053 (2020).
- 16) 屋良 由美子, 藤井 賢彦, 山中 康裕, 岡田 直資, 山野 博哉, 大島 和裕, 地球温暖化に伴う海水温上昇が日本近海のサンゴ分布及び健康度に及ぼす影響評価, *日本サンゴ礁学会誌*, **11**, 131-140. doi : 10.3755/jcrs.11.131 (2009).
- 17) 柴野 良太, 藤井 賢彦, 山中 康裕, 山野 博哉, 高尾 信太郎, 北海道における沿岸水温環境とホタテガイ漁獲量の時空間変動解析, *水産海洋研究*, **78** (4), 259-267 (2014).
- 18) S. Takao, N. H. Kumagai, H. Yamano, M. Fujii, and Y. Yamanaka, Projecting the impacts of rising seawater temperatures on the distribution of seaweeds around Japan under multiple climate change scenarios, *Ecology and Evolution*, **5** (1), 213-223, doi : 10.1002/ece3.1358 (2015).
- 19) K. Sudo, S. Maehara, M. Nakaoka, and M. Fujii, Assessing impacts of tropicalization on coastal fish that affect coastal ecosystem services of Japan, *Front. Built Environ*, **7**, 788700, doi : 10.3389/fbuil.2021.788700 (2022).
- 20) 北海道大学, 北海道大学プレスリリース : 日本沿岸の熱帯性魚種の詳細な分布推定・予測に成功～沿岸の地方自治体等での地球温暖化適応策の策定への貢献に期待～ (accessed

- February 12 2022), <https://www.hokudai.ac.jp/news/2022/01/post-967.html>
- 21) T. Onitsuka, H. Takami, D. Muraoka, Y. Matsumoto, A. Nakatsubo, R. Kimura, T. Ono, and Y. Nojiri, Effects of ocean acidification with pCO₂ diurnal fluctuations on survival and larval shell formation of Ezo abalone, *Haliotis discus hannai*, *Marine Environmental Research*, 134, 28-36 (2018).
 - 22) R. A. Feely, C. L. Sabine, J. M. Hernandez-Ayon, D. Ianson, B. Hales, Evidence for upwelling of corrosive "acidified" water onto the continental shelf, *Science*, 320, 1490-1492 (2008).
 - 23) N. Bednaršek, R. A. Feely, M. W. Beck, S. R. Alin, S. A. Siedlecki, P. Calosi, E. L. Norton, C. Saenger, J. Štrusg, D. Greeley, N. P. Nezlin, M. Roethler, and J. I. Spicer, Exoskeleton dissolution with mechanoreceptor damage in larval Dungeness crab related to severity of present-day ocean acidification vertical gradients, *Science of The Total Environment*, 716, 136610 (2020).
 - 24) Y. Yara, M. Vogt, M. Fujii, H. Yamano, C. Hauri, M. Steinacher, N. Gruber, and Y. Yamanaka, Ocean acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habitats around Japan, *Biogeosciences*, 9, 4955-4968, doi : 10.5194/bg-9-4955-2012 (2012).
 - 25) Y. Yara, H. Yamano, M. Steinacher, M. Fujii, M. Vogt, N. Gruber, and Y. Yamanaka, Potential future coral habitats around Japan depend strongly on anthropogenic CO₂ emissions, In : S. Nakano, T. Yahara, and T. Nakashizuka (eds.), *Aquatic Biodiversity Conservation and Ecosystem Services*, 41-56, Springer, Tokyo (2016).
 - 26) M. Fujii, S. Takao, T. Yamaka, T. Akamatsu, Y. Fujita, M. Wakita, A. Yamamoto, and T. Ono, Continuous monitoring and future projection of ocean warming, acidification, and deoxygenation on the subarctic coast of Hokkaido, Japan, *Front. Mar. Sci.*, 8, 590020, doi : 10.3389/frmars.2021.590020 (2021).
 - 27) 藤井 賢彦, 高尾 信太郎, 山家 拓人, 赤松 知音, 藤田 大和, 脇田 昌英, 山本 彬友, 小埜 恒夫, 北海道沿岸域における地球温暖化・海洋温暖化・貧酸素化指標の連続モニタリングと将来予測シミュレーション, *月刊海洋*, 53 (6), 318-331 (2021).
 - 28) 日本海洋学会. 2017. 海の温暖化 —変わりゆく海と人間活動の影響—. pp. 154.
 - 29) T. Ono, Long-term trends of oxygen concentration in the waters in bank and shelves of the Southern Japan Sea, *J. Oceanogr.*, doi : 10.1007/s10872-021-00599-1 (2021).
 - 30) B. A. Grantham, F. Chan, K. J. Nielsen, D. S. Fox, J. A. Barth, A. Huyer, J. Lubchenco, and B. A. Menge, Upwelling-driven nearshore hypoxia signals ecosystem and oceanographic changes in the northeast Pacific, *Nature*, 429, 749-754 (2004).
 - 31) 柳 哲雄, シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ, *沿岸海洋研究ノート*, 26 (2), 141-145 (1989).
 - 32) IPCC, Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, in press (2018).
 - 33) A. Endo, K. Burnett, P. M. Orenco, T. Kumazawa, C. A. Wada, A. Ishii, I. Tsurita, and M. Taniguchi, Methods of the Water-Energy-Food Nexus, *Water*, 7, 5806-5830, doi : 10.3390/w7105806 (2015).
 - 34) A. Endo, M. Yamada, Y. Miyashita, R. Sugimoto, A. Ishii, J. Nishijima, M. Fujii, T. Kato, H. Hamamoto, M. Kimura, T. Kumazawa, and J. Qi, Dynamics of water-energy-food nexus methodology, methods, and tools, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 13, 46-60, doi : 10.1016/j.coesh.2019.10.004 (2020).
 - 35) A. Endo, M. Yamada, K. Baba, Y. Miyashita, R. Sugimoto, A. Ishii, J. Nishijima, M. Fujii, T. Kato, H. Hamamoto, M. Kimura, T. Kumazawa, N. Masuhara, and H. Honda, Methodology for Nexus approach toward sustainable use of geothermal hot spring resources, *Frontiers in Water*, 3, 713000, doi : 10.3389/frwa.2021.713000 (2021).
 - 36) 藤井 賢彦, 再生可能エネルギーと熱のカスケー

ド（多段階）利用. 馬場 健司, 増原 直樹, 遠藤 愛子（編著）. 地熱資源をめぐる 水・エネルギー・食料ネクサス —学際・超学際アプローチに向けて—, 近代科学社, 124-134 (2018).

- 37) 水産庁, 令和2(2020)年度ブリの資源評価ブリの資源評価 (accessed February 12 2022), <http://abchan.fra.go.jp/digests2020/details/202045.pdf>
- 38) 藤井 賢彦, 海洋酸性化が日本の沿岸社会に及ぼす影響評価, 月刊海洋, **50** (5), 208-216 (2018).
- 39) 藤井 賢彦, 地球温暖化・海洋酸性化が日本沿岸の海洋生態系や社会に及ぼす影響, 水産工学, **56** (3), 191-195 (2020).
- 40) 藤井 賢彦, 海洋酸性化, 沿岸域学会誌, **32** (4), 15-19 (2020).
- 41) IPCC, Summary for Policymakers. In : Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R.

Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)], Cambridge University Press, in press (2021).

著者略歴



藤井 賢彦 (ふじい まさひこ)

2001年12月 北海道大学大学院地球環境科学研究科博士後期課程修了

2002年1月 日本学術振興会／国立環境研究所科学技術研究員

2003年8月 米国メイン州立大学海洋科学部博士研究員

2006年8月 北海道大学創成科学研究共同機構特任准教授

2008年6月 同大学大学院地球環境科学研究院特任准教授

2010年4月より現職

気候変動が沿岸域に及ぼす影響の評価・予測・対策, 再生可能エネルギーの適正な導入促進に関する教育・研究に携わる.

博士(地球環境科学), 潜水士