

2021年10月14日

沖縄県知事 玉城 康裕 様

一般社団法人 日本サンゴ礁学会
サンゴ礁保全学術委員会 委員長 藤田喜久

意見照会「サンゴ類の環境保全措置としての移植を、水温が高く台風の襲来が見込まれる時期に実施することについて」について（回答）

時下ますますご清祥のこととお慶び申し上げます。

平素より当学会活動にご理解・ご支援を賜り厚く御礼申し上げます。

さて、標記の件につきまして、サンゴ礁保全学術委員会構成員で議論した結果、以下のとおり回答いたします。

1. 造礁サンゴ類は、一般的に低水温期に比べ高水温期に成長率が高くなるとされる。しかし、高水温期は、白化現象や台風による攪乱（波浪や降雨による塩分の低下）などによって移植サンゴ群体の生残率が低下する可能性が高まる時期でもあるため、この時期の移植は避けるべきである。
2. 沖縄島周辺海域において、5月～9月の時期は造礁サンゴ類の繁殖期（有性生殖期）に相当している。移植群体の成長と繁殖の間にはトレードオフの関係が見られることが知られ、また、繁殖期の移植サンゴ群体は（移植自体のストレスに加え）追加ストレスの影響も受けやすいとされるため、移植サンゴ群体の繁殖成功率および成長率の低下を引き起こす可能性が懸念される。よって、繁殖期の移植は避けることが望ましい。
3. ただし、造礁サンゴ類の移植時期を検討した研究例は少なく、現時点では、複数の種をまたいで一義的に移植の適期を断定することは困難である。今後、移植対象種毎の生態的特徴（特に繁殖様式や時期）、移植予定海域の物理・化学的環境の季節変動、移植に伴う水中作業や移植後のモニタリング等を含む管理作業の確実性などを総合的に勘案し、各分野の研究者を含む関係者間で同意できうる最適な移植時期を改めて検討すべきである。

なお、上記回答文における「移植」の用語については、“移築”および“移設”を含む意味とします。また、上記回答に関し、添付書類にて根拠文献やサンゴ礁保全学術委員会構成員からの意見等を示しておりますので、ご参照いただけますと幸いです。

以上

(添付書類)

意見照会への回答に関する根拠資料及び意見など

1. 夏季の台風による攪乱や高水温による影響について

- * 国内外における造礁サンゴ類の移植に関するマニュアルおよびガイドブック (Edward and Gomez, 2007; 沖縄県文化環境部自然保護課, 2008; Hein *et al.*, 2020) には、「水温の高い時期、繁殖の時期の移植を避けるべき」との記述がある。
- * 「高水温は、(主に移植ストレスと白化によって) 移植した造礁サンゴ類 (クシハダミドリイシ *Acropora hyacinthus* とハナヤサイサンゴ *Pocillopora damicornis*) の死亡率を増加させる (Yap *et al.*, 1992)」との研究結果が知られている。
- * 「移植先の海面水温が 30.5°C を超えると、移植した造礁サンゴ類の生残率が 50% を下回る可能性が高い (Foo and Asner, 2020)」との研究結果がある。
- * 「高水温期は白化や病気が蔓延しやすいため、移植による死亡率が高くなる可能性がある (Edward and Gomez, 2007)」との指摘がある。
- * 「移植したサンゴの成長率は冬季に比べ夏季に高くなるが、白化や死亡リスクを抑えるために高温時や台風(嵐) 時期は避けるべきである (Omori, 2019)」との指摘がある。
- * 移植後の生残率と水温及び日長光周期の関係を調べた研究では、生残率は水温に逆相関し、日長光周期には相関する傾向が示されている (Yap and Gomez, 1984; Yap *et al.*, 1992; 大久保・大森, 2001)。
- * 沖縄県内における大規模な造礁サンゴ類の移植事例 (沖縄島那覇空港滑走路増設事業および石西礁湖航路整備事業の事例) では、台風による波浪あるいは高水温による白化の影響により、生残率が大幅に低下している。これらの事例では、移植時期を考慮した分析が行われてはいないものの、夏季は移植した造礁サンゴ群体にとっても大規模攪乱の影響を受けやすい時期であることが伺える。(報告書の情報であるため、文献引用は省略する)
- * 造礁サンゴ類の高水温耐性に関連しては、白化現象の引き金となる高水温条件への耐性には種間や属間で差があることが示唆されている (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; Baker *et al.*, 2008; Weis, 2008; Foo and Asner, 2020)。また、造礁サンゴ類には、共生藻類を環境条件に合わせて変えることで、海水温上昇に対して順応している可能性も示唆されている (Oliver and Palumbi, 2009; Jones *et al.*, 2008; Sampayo *et al.*, 2008)。ただし、温度耐性が特に高いとされるハマサンゴ属などでは、特定タイプの共生藻類との強固な関係がみられ、共生藻類の入れ替え調整が難しいという報告もある (Thornhill *et al.*, 2006)。以上のように、高水温耐性は造礁サンゴ類の種によって異なっているため、夏季の移植については、対象となる造礁サンゴ類の特性や、元の環境履歴を明らかにしたうえで、移植を検討する事が必要であると考えられる。

2. 繁殖期(有性生殖)における造礁サンゴ類移植の影響について

- * 「繁殖期(産卵)の造礁サンゴ類は、(移植のストレスに加え) 追加ストレスの影響を受けやすいため、その前後の移植を避けるのが賢明かもしれない (Edward and Gomez,

2007) 」との指摘がある。

- * 「移植した造礁サンゴ群体の成長と繁殖の間にはトレードオフの関係が見られる（移植のために小断片化されたサンゴはその後繁殖しない期間が生じる場合がある。また、移植後に卵母細胞を吸収して産卵しない場合は、群体の成長率は高いなど。）(Okubo *et al.*, 2005, 2007, 2009)」との研究結果がある。
- * 沖縄島周辺（含 慶良間諸島）において、8月～9月の時期（2021年に辺野古海域での移植が実施された時期）に繁殖する可能性のある造礁サンゴ類としては52種が記録されている（Isomura and Fukami, 2018; Baird *et al.*, 2021）（別表1参照）。
- * 以上のように、造礁サンゴ類の繁殖期における移植については、移植サンゴ群体の繁殖（有性生殖）成功率および成長率の低下を引き起こす懸念が示されている。しかし、根拠となる研究は比較的小さな移植断片（群体）を取り扱ったもので、群体サイズが大きな場合の影響は不明である。一方、造礁サンゴ類の一般的な繁殖期として5～9月の夏季が知られるが、種によって異なっている（Isomura and Fukami, 2018; Baird *et al.*, 2021）。したがって、移植対象種の繁殖期を十分に考慮し、移植時期を検討することが重要であると考えられる。

3. サンゴ礁保全学術委員会からの回答に関する付帯事項

- * 日本サンゴ礁学会が2004年に策定・公表した「造礁サンゴの移植に関するガイドライン」では、移植時期についての言及はなされていない（日本サンゴ礁学会, 2004）。今後、本学会サンゴ礁保全学術委員会にてガイドラインの見直しを予定しており、移植時期についても検討することを予定している。
- * 「移植」がサンゴ群体に与える影響については、近年になっても「新たな懸念」が示されている状況である。例えば、「造礁サンゴ類の移植は、サンゴに関連する微生物群集（epilithic algal matrix: EAM）に有意な影響を与え、サンゴの病気に関連する潜在的な病原体の増加をもたらす（移植によってサンゴの病原体に対する感受性が高まる）可能性がある（Casey *et al.*, 2015）」という指摘もある。
- * 日本サンゴ礁学会のガイドラインでは、移植に関する基本的見解として、「（移植が）人間活動による沿岸域の乱開発やサンゴ礁の破壊を容認するものであってはならない」こと、「サンゴ群集の回復には好ましい生育環境条件の保全が最も大切であり、（移植は）サンゴ群集の再生を助けるだけである」こと、「移植によるサンゴ群集修復活動を実施した海域の環境条件がサンゴの生育にとって好ましいものでなければ、効果は得られず、活動は無に帰してしまう」ことを挙げている（日本サンゴ礁学会, 2004）。
今回は、「移植時期」の意見照会についての回答を求められているが、サンゴ移植に関しては、実施時期のみならず、造礁サンゴ類の「種」による生態的特性、移植元および移植先の底質環境や物理・化学的環境、移植に伴う他の生物や周辺環境への影響など多くの事項に関して、十分に調査・検討すべきである。

4. 文献

Baird *et al.*, 2021. An Indo-Pacific coral spawning database. *Scientific Data*, 8: 35.

Baker, A. C., Glynn, P. W., and Riegl, B., 2009. Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine*,

- Coastal and Shelf Science, 80: 435-471.
- Casey, J. M., Connolly, S. R., and Ainsworth, T. D., 2015. Coral transplantation triggers shift in microbiome and promotion of coral disease associated potential pathogens. *Scientific Reports*, 5: 11903.
- Edward, A.J., and Gomez, E. D., 2007. Reef Restoration Concepts and Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Programme: St Lucia, Australia. iv + 38 pp.
- Foo, S. A., and Asner, G. P., 2020. Sea surface temperature in coral reef restoration outcomes. *Environmental Research Letters*, 15: 074045.
- Hein, M. Y., McLeod, I. M., Shaver, E. C., Vardi, T., Pioch, S., Boström-Einarsson, L., Ahmed, M, and Grimsditch, G., 2020. Coral Reef Restoration as a strategy to improve ecosystem services – A guide to coral restoration methods. United Nations Environment Program, Nairobi, Kenya. (https://www.icriforum.org/wp-content/uploads/2021/01/Hein-et-al.-2020_UNEP-report-1.pdf)
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, A. P., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C. D., Sale, P. F., Edwards, A. J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R.H., Dubi, A., and Hatziolos, M. E., 2007. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318: 1737-1742.
- Isomura, N., and Fukami, H., 2018. Coral reproduction in Japan. Pp. 95-110. *In*: Iguchi, A., and Hongo, C. (eds.), *Coral Reef Studies of Japan (Coral Reefs of the World 13)*. Springer Nature, Singapore.
- Jones, A., Berkelsman, R., van Oppen, M., Mieog, J., and Sinclair, W., 2008. A community change in the algal endosymbionts of a scleractinian coral following a natural bleaching event: field evidence of acclimatization. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*, 275: 1359-1365.
- 日本サンゴ礁学会, 2004. 造礁サンゴの移植に関するガイドライン. (<http://www.jcrs.jp/old/information/ishoku-guideline.pdf>)
- 大久保奈美・大森信, 2001. 世界の造礁サンゴの移植レビュー. *Galaxea*, 3: 31-40.
- Okubo, N., Taniguchi, H., and Motokawa, T., 2005. Successful methods for transplanting fragments of *Acropora formosa* and *Acropora hyacinthus*. *Coral Reefs*, 24: 333-342.
- Okubo, N., Motokawa, T., and Omori, M., 2007. When fragmented coral spawn? Effect of size and timing on survivorship and fecundity of fragmentation in *Acropora formosa*. *Marine Biology*, 151: 353-363.
- Okubo, N., Taniguchi, H., and Omori, M., 2009. Sexual reproduction in transplanted coral fragments of *Acropora nasuta*. *Zoological Studies*, 48: 442-447.
- Omori, M., 2019. Coral restoration research and technical developments: what we have learned so far. *Marine Biology Research*, 15: 377-409.
- Oliver, T. A., and Palumbi, S. R., 2009. Distributions of stress-resistant coral symbionts match environmental patterns at local but not regional scales. *Marine Ecology Progress Series*, 378: 93-103.
- 沖縄県文化環境部自然保護課, 2008. 沖縄県サンゴ移植マニュアル. (https://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/shizen/hogo/documents/sango_isyoku_manual.pdf)

- Sampayo, E. M., Ridgway, T., Bongaerts, P., and Hoegh-Guldberg, O., 2008. Bleaching susceptibility and mortality of corals are determined by fine-scale differences in symbiont type. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105: 10444-10449.
- Thornhill, D., Fitt, W., and Schmidt, G., 2006. Highly stable symbioses among western Atlantic brooding corals. *Coral Reefs*, 25: 515-519.
- Weis, V. M., 2008. Cellular mechanisms of cnidarian bleaching: Stress causes the collapse of symbiosis. *Journal of Experimental Biology.*, 211: 3059-3066.
- Yap, H. T., Aliño, P. M., and Gomez, E. D., 1992. Trends in growth and mortality of three coral species (Anthozoa: Scleractinia), including effects of transplantation. *Marine Ecology Progress Series*, 83: 91-101.

表1. これまで報告された各種サンゴの繁殖記録（野外・室内を含む、バンドル型・放精放卵型を含む）（Isomura and Fukami 2018, Baired et al. 2021参照）

和名	学名	8月産卵	9月産卵	備考
タマユビミドリイシ	<i>Acropora anthocercis</i> (Brook, 1893)	○		
ムギノホミドリイシ	<i>Acropora cerealis</i> (Dana, 1846)	○		
和名なし	<i>Acropora</i> sp.1 sensu Hayashibara and Shimoike (2002)	○		<i>Acropora</i> cf./aff. <i>digitifera</i> として記録
ヤッコミドリイシ	<i>Acropora divaricata</i> (Dana, 1846)	○		
ツツハナガサミドリイシ	<i>Acropora granulosa</i> (Milne Edwards, 1860)	○		
マツバミドリイシ	<i>Acropora microclados</i> (Ehrenberg, 1834)	○		
コエダミドリイシ	<i>Acropora microphthalma</i> (Verrill, 1869)	○		
サンカクミドリイシ	<i>Acropora monticulosa</i> (Brüggemann, 1879)	○		
キクハナガサミドリイシ	<i>Acropora latistella</i> (Brook, 1892)	○		
マルツツハナガサミドリイシ	<i>Acropora loripes</i> (Brook, 1892)	○		
和名なし	<i>Acropora paniculata</i> Verrill, 1902	○		
和名なし	<i>Acropora palmerae</i> Wells, 1954	○		
ヤスリミドリイシ	<i>Acropora robusta</i> (Dana, 1846)	○		<i>Acropora</i> cf. <i>robusta</i> として記録
サモアミドリイシ	<i>Acropora samoensis</i> (Brook, 1891)	○		
和名なし	<i>Acropora subulata</i> (Dana, 1846)	○		
ホソエダミドリイシ	<i>Acropora valida</i> (Dana, 1846)	○		
和名なし	<i>Acropora verweyi</i> Veron and Wallace, 1984	○		
コシバミドリイシ	<i>Acropora willisiae</i> Veron and Wallace, 1984	○		
マルキクメイシ	<i>Astrea curta</i> (Dana, 1846)	○		
トゲクサピライシモドキ	<i>Ctenactis crassa</i> (Dana, 1846)	○		
トゲクサピライシ	<i>Ctenactis echinata</i> (Pallas, 1766)	○		
バラバットサンゴ	<i>Dipsastraea amicornum</i> (Milne Edwards and Haime, 1849)	○		
ナミキクメイシ	<i>Dipsastraea favus</i> (Forskål, 1775)	○		
ヤスリキクメイシ	<i>Dipsastraea laxa</i> (Klunzinger, 1879)	○		
アラキクメイシ	<i>Dipsastraea matthaii</i> Vaughan, 1918	○		
ウスチャキクメイシ	<i>Dipsastraea pallida</i> (Dana, 1846)	○		
アハレキクメイシ	<i>Dipsastraea veroni</i> (Moll and Best, 1984)	○		
コエダナガレハナサンゴ	<i>Fimbriaphyllia divisa</i> (Veron and Pichon, 1980)	○		<i>Euphyllia divisa</i> として記録
カメノコキクメイシ	<i>Favites abdita</i> (Ellis and Solander, 1786)	○		
オオカメノコキクメイシ	<i>Favites flexuosa</i> (Dana, 1846)	○		
マルカメノコキクメイシ	<i>Favites halicora</i> (Ehrenberg, 1834)	○		
オオマルキクメイシ	<i>Favites magnistellata</i> (Chevalier, 1971)	○		
タカクキクメイシ	<i>Favites valenciennesi</i> (Milne Edwards and Haime, 1849)	○		
アザミサンゴ	<i>Galaxea fascicularis</i> (Linnaeus, 1767)	○		
コカメノコキクメイシ	<i>Goniastrea pectinata</i> (Ehrenberg, 1834)	○	○	
コモンキクメイシ	<i>Goniastrea retiformis</i> (Lamarck, 1816)	○	○	
ホシキクメイシ	<i>Goniastrea stelligera</i> (Dana, 1846)	○		<i>Dipsastraea stelligera</i> として記録
キュウリイシ	<i>Herpolitha limax</i> (Esper, 1792)	○	○	
トゲイボサンゴ	<i>Hydnophora exesa</i> (Pallas, 1766)	○		
マルクサピライシ	<i>Lithophyllon repanda</i> (Dana, 1846)	○		
サザナミサンゴ	<i>Merulina ampliata</i> (Ellis and Solander, 1786)	○		
シモコモンサンゴ	<i>Montipora efflorescens</i> Bernard, 1897		○	
和名なし	<i>Montipora effusa</i> (Dana, 1846)	○		
ノリコモンサンゴ	<i>Montipora informis</i> Bernard, 1897	○		
ホンアバタコモンサンゴ	<i>Montipora turgescens</i> Bernard, 1897		○	
コモンサンゴ	<i>Montipora venosa</i> (Ehrenberg, 1834)	○		
リュウモンサンゴ	<i>Pachyseris speciosa</i> (Dana, 1846)	○		
ミダレノウサンゴ	<i>Platygyra contorta</i> Veron, 1990	○		
ヒラノウサンゴ	<i>Platygyra daedalea</i> (Ellis and Solander, 1786)	○		
リュウキュウノウサンゴ	<i>Platygyra ryukyuensis</i> Yabe and Sugiyama, 1935	○	○	
シナノウサンゴ	<i>Platygyra sinensis</i> (Milne Edwards and Haime, 1849)	○		
イボハダハナヤサイサンゴ	<i>Pocillopora verrucosa</i> (Ellis and Solander, 1786)	○		
Total (number of species) : 52		50	6	