

飼育下におけるリクガメ類の産卵日と 月の周期、日長及び気温との関係

八木 夕季^{1,*}・野田 英樹^{2,#}・木村 元大²・楠田 哲士³

¹ 448-8651 愛知県刈谷市豊田町 1-1 トヨタ紡織株式会社

² 923-1222 石川県能美市徳山町 600 いしかわ動物園

³ 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学応用生物科学部

現所属：409-0193 山梨県上野原市ハツ沢 2525 帝京科学大学生命環境学部

Relationship between egg-laying date and lunar phase, day length, and temperature in captive tortoises

By Yuki Yagi¹, Hideki Noda^{2,#}, Motohiro Kimura², and Satoshi Kusuda³

¹ Toyota Boshoku Corporation, 1-1 Toyoda-cho, Kariya, Aichi 448-8651, Japan

² Ishikawa Zoo, 600 Tokusan-machi, Nomi, Ishikawa 923-1222, Japan

³ Faculty of Applied Biological Sciences, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu, Gifu 501-1193, Japan

Present address: Teikyo University of Science, 2525 Yatsusawa, Ueno, Yamanashi 409-0193, Japan

序 文

いくつかの動物において繁殖は月の周期と関係することが知られている。特に潮の干満の中に生息する海生動物で産卵と月の周期との関係が報告されており（例：ウズラタマキビ属の1種 *Littorina melanostoma*, Berry and Chew, 1973；ガンガゼ科の1種 *Centrostephanus coronatus*, Kennedy and Pearse, 1975；アイゴ属の1種 *Signaus canaliculatus*, Hoque et al., 1999；ヨーロッパヘダイ *Sparus aurata*, Saavedra and Pousao-Ferreira, 2006），ウミガメ類においても月の周期に同調して産卵した事例がある（アカウミガメ *Caretta caretta*, Burney et al., 1990；オサガメ *Dermochelys coriacea*, Girondot and Fretey, 1996；ヒメウミガメ *Lepidochelys olivacea*, Plotkin et al., 1997）。近年では、陸生動物においても出産や産卵が月の周期で起こることが報告されている（ウ

マ *Equus caballus*, Kollerstrom, 2004；モルツカツカツクリ *Megapodius wallacei*, Baker and Dekker, 2008；ヨーロッパヒキガエル *Bufo bufo*, ヨーロッパアカガエル *Rana temporaria*, Grant et al., 2009；ウシ *Bos taurus*, Yonezawa et al., 2016）。カメ類では、淡水性のモンキヨコクビガメ (*Podocnemis unifilis*) で満月時に産卵が多くなる傾向があったことが報告されている (Escalona et al., 2019)。これらの陸生動物は潮の干満ではなく、月の光や重力の影響を受けている可能性があり、繁殖が月の周期と関係する動物は海生以外であっても多く存在するかもしれない。

本研究では、飼育下のリクガメ類の産卵記録より、リクガメ類の産卵が月の周期と関係するか調査した。

方 法

リクガメ類の産卵の有無に影響を及ぼす要因を見つけるため、いしかわ動物園（石

*責任著者

川県能美市) で飼育されていたリクガメ類 5 種 (ケヅメリクガメ *Centrochelys sulcata*, ヒョウモンガメ *Stigmochelys pardalis*, ヨツユビリクガメ *Testudo horsfieldi*, ホウシャガメ *Astrochelys radiata*, アカアシガメ *Chelonoidis carbonaria*) の 2010~2019 年の産卵記録をまとめた (表 1). これらのリクガメ類は, 屋内と屋外を温暖な季節には自由に移動することができる施設で飼育され, 屋内外どちらでも産卵可能となっていた. 屋内施設には窓があり, 夜間には月光が入る.

産卵記録の重回帰分析を用い, 産卵の有無と日の出から日の入りまでの長さ (日長), 及び気象データとの関係を解析した. 日長は国立天文台 HP (<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/>, 2022 年 1 月 11 日確認) より, 気象データは国土交通省気象庁 HP (<https://www.jma.go.jp/jma/index.html/>, 2022 年 1 月 11 日確認) より得た. 解析に使用した気象データは, 石川県金沢市の過去の気温, 降水量, 日照時間, 最深積雪, 降雪量, 風速, 蒸気圧, 現地気圧, 及び雲量とした. 種ごとの解析では, 産卵回数の多かったケヅメリクガメ及びヒョウモンガメの 2 種のデータを用いた (表 1).

月の周期の中で有意な産卵の集中があるかを確認するため, ケヅメリクガメ及びヒョウモンガメの産卵数を 1 月齢ごとに分け, レイリー検定により, 有意に産卵が集中する月齢を解析した. 月齢は国立天文台 HP (<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/>, 2022 年 1 月 11 日確認) より得た. 破卵が多く, 正確な産卵数を得られなかった場合は, 数えることのできた最低数を産卵数とし, 解析に用いた.

リクガメ類の産卵のタイミングと月の周期との関係を調査するため, スタージェスの公式を用い, リクガメ類全 5 種の産卵回数から 2010~2019 年に確認できた月齢 0.0~29.6 を均等に 6 区に分けた (表 2). 月の周期の中で産卵回数の分布に種間で違いがあるか確認

表 1. いしかわ動物園において 2010~2019 年に産卵が確認されたリクガメの産卵状況. 破卵が多く, 正確な卵数を得られなかったケヅメリクガメの 1 回の産卵では, 数えることのできた最低数を産卵数とした. メス個体数は, 2010~2019 年に飼育された個体数を示す.

	産卵 年数	産卵 数	産卵 回数	メス 個体数
ケヅメリクガメ <i>Centrochelys sulcata</i>	8	472	29	1
ヒョウモンガメ <i>Stigmochelys pardalis</i>	9	137	19	4
ヨツユビリクガメ <i>Testudo horsfieldi</i>	3	8	3	1
ホウシャガメ <i>Astrochelys radiata</i>	2	11	3	2
アカアシガメ <i>Chelonoidis carbonaria</i>	1	17	3	1

表 2. 2010~2019 年の各月齢区の月齢.

月齢区 No.	月齢	月の状態
1	27.2~29.6	新月
2	0.0~2.4	
3	2.5~7.4	
4	7.5~12.3	満月
5	12.4~17.2	
6	17.3~22.2	
	22.3~27.1	

するため, ケヅメリクガメ及びヒョウモンガメの月齢区ごとの産卵回数をカイ二乗検定により解析した. 2 日以上にまたがって産卵が行われた場合は, 産卵初日を産卵日とした.

結 果

リクガメ類 5 種 (ケヅメリクガメとヒョウモンガメを含む), ケヅメリクガメ, 及びヒョウモンガメのそれぞれの 2010~2019 年における月ごとの産卵回数を図 1 に示す. 重回帰分析の結果, リクガメ類 5 種の産卵の有無に影響する要因は日長 ($p < 0.01$) 及び気温 ($p < 0.05$) であった (表 3a). ケヅメリクガメでは, 産卵の有無に影響を及ぼす要因は日長であった ($p < 0.05$, 表 3b). ヒョウモンガメでは, 産卵の有無に影響を及ぼす要因は認められなかった ($p > 0.05$, 表 3c).

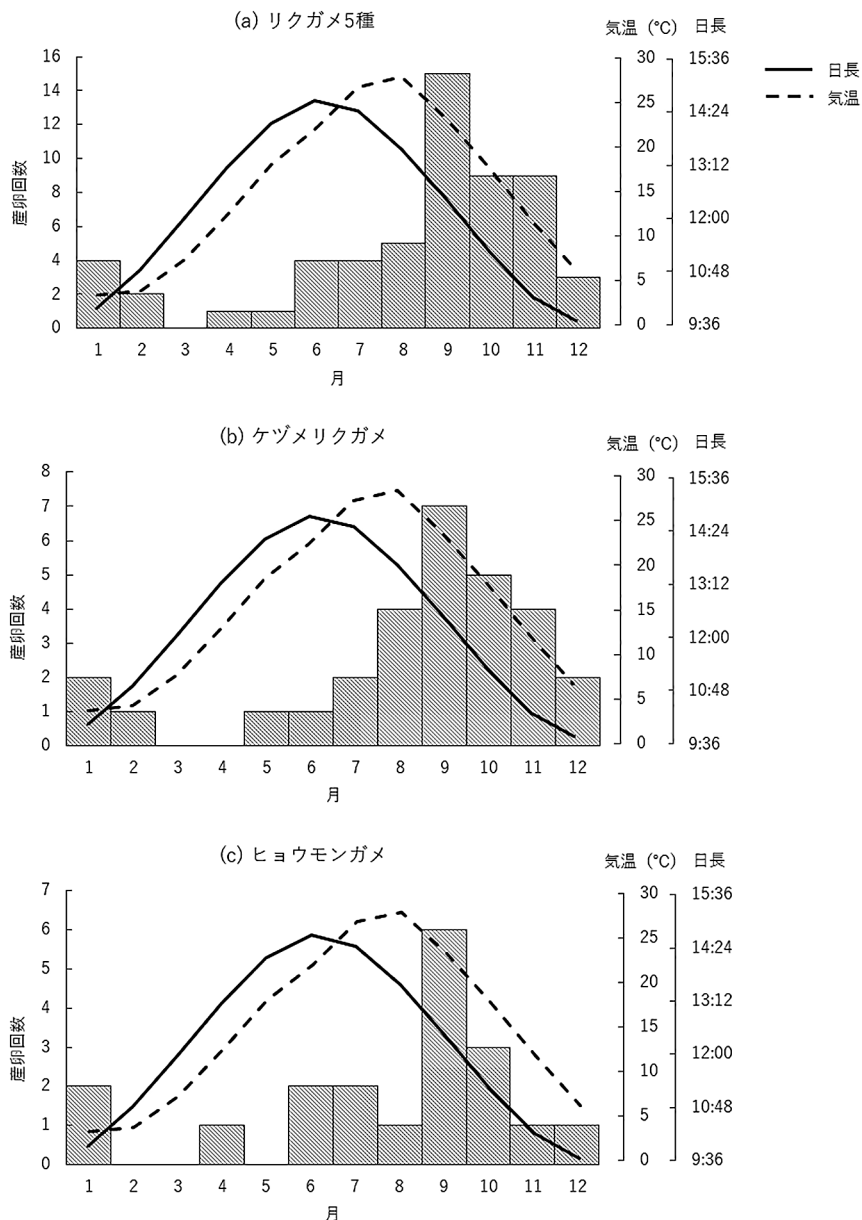


図1. 2010～2019年のいしかわ動物園におけるリクガメ類の産卵回数と日長及び気温の関係。
 (a) リクガメ5種 (ケヅメリクガメとヒョウモンガメを含む), (b) ケヅメリクガメ, (c) ヒョウモンガメ。
 日長は国立天文台 HP より得たデータ, 気温は国土交通省気象庁 HP より得た石川県金沢市の2010～2019年のデータの平均値を示す。

産卵の集中があるかレイリー検定により産卵数を解析した結果, ケヅメリクガメには有意な産卵の集中があり ($p < 0.01$, 図2a), 下弦の月付近で最も多く産卵していた。ヒョウモンガメでは有意な産卵の集中はなかった

($p > 0.05$, 図2b)。

リクガメ類5種, ケヅメリクガメ, 及びヒョウモンガメの産卵回数を図3に示す。リクガメ全5種の産卵回数は, 5月齢区で最も多く, 全産卵回数57回中15回の産卵があっ

表 3. 産卵の有無に影響を及ぼす要因の重回帰分析結果. *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

	(a) リクガメ類 5 種		(b) ケヅメリクガメ		(c) ヒョウモンガメ	
	B	β	B	β	B	β
気温	0.002	0.134*	0.001	0.074	0.001	0.114
降水量	0	-0.018	0	-0.003	0	-0.031
日照時間	-0.001	-0.053	0	-0.005	-0.001	-0.056
最深積雪	0	0.003	0	0.011	0	-0.003
降雪量	0.001	0.024	0.001	0.025	0	0.005
風速	0.002	0.029	0.001	0.015	0.001	0.032
蒸気圧	0	0.019	0	0.032	0	-0.007
気圧	0	0.021	0	0.009	0	0.036
雲量	-0.001	-0.022	0.001	0.016	-0.001	-0.022
日長	-0.16	-0.093**	-0.087	-0.07*	-0.038	-0.038
(定数)	-0.314		-0.096		-0.373	
R ²	0.009**		0.003**		0.002**	

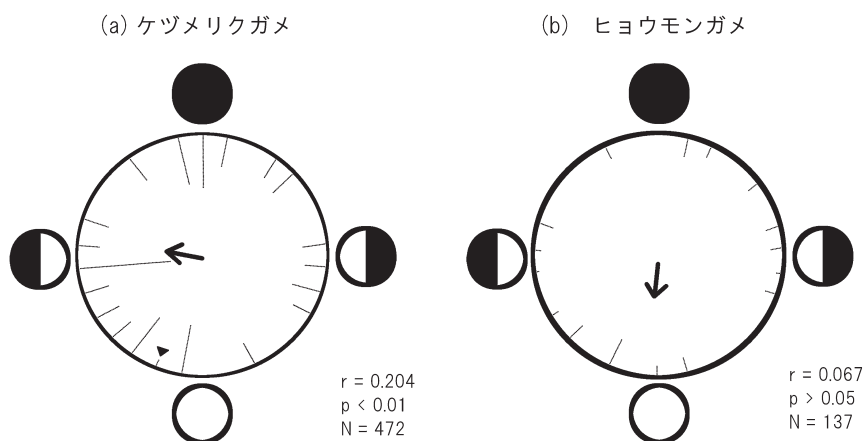


図 2. 2010~2019 年のいしかわ動物園における産卵数と月の周期との関係。

(a) ケヅメリクガメ, (b) ヒョウモンガメの産卵数. 円内のバーは産卵数, 矢印は産卵の平均月齢を示す. ▲は産卵数不明であり, 数えることのできた最低数とした.

た. ケヅメリクガメとヒョウモンガメで月齢区ごとの産卵回数の分布を比較した結果, 分布に違いは認められず (カイ二乗検定, $p > 0.05$), 2 種ともに 5 月齢区で最も産卵回数が多かった (図 3). 5 月齢区の産卵数はケヅメリクガメで全 29 回中 8 回, ヒョウモンガメで全 19 回中 6 回であった.

考 察

いしかわ動物園で飼育されていたリクガメ類の産卵の有無に影響を及ぼす要因は, 主に日長及び気温との解析結果を得た (表 3). ケヅメリクガメの産卵の有無に影響を及ぼす

要因について解析したところ, 日長の影響は有意であり, 気温の影響は有意でないとの結果を得た. 今回の解析で気温として用いたデータは飼育場所の気温ではなく, 金沢市の気温であったため, 実際の気温による影響度を反映できなかった可能性がある. 気温が淡水性カメ類の産卵に (ブランディングガメ *Emydoidea blandingi*, Congdon et al., 1983), 及び水温がウミガメ類の産卵に関係していることを示す研究報告はあるが (アカウミガメ *C. caretta*, Weishampel et al., 2004), 日長がカメ類の産卵のタイミングに影響を及ぼすという仮説は証明されておらず, Bradshaw

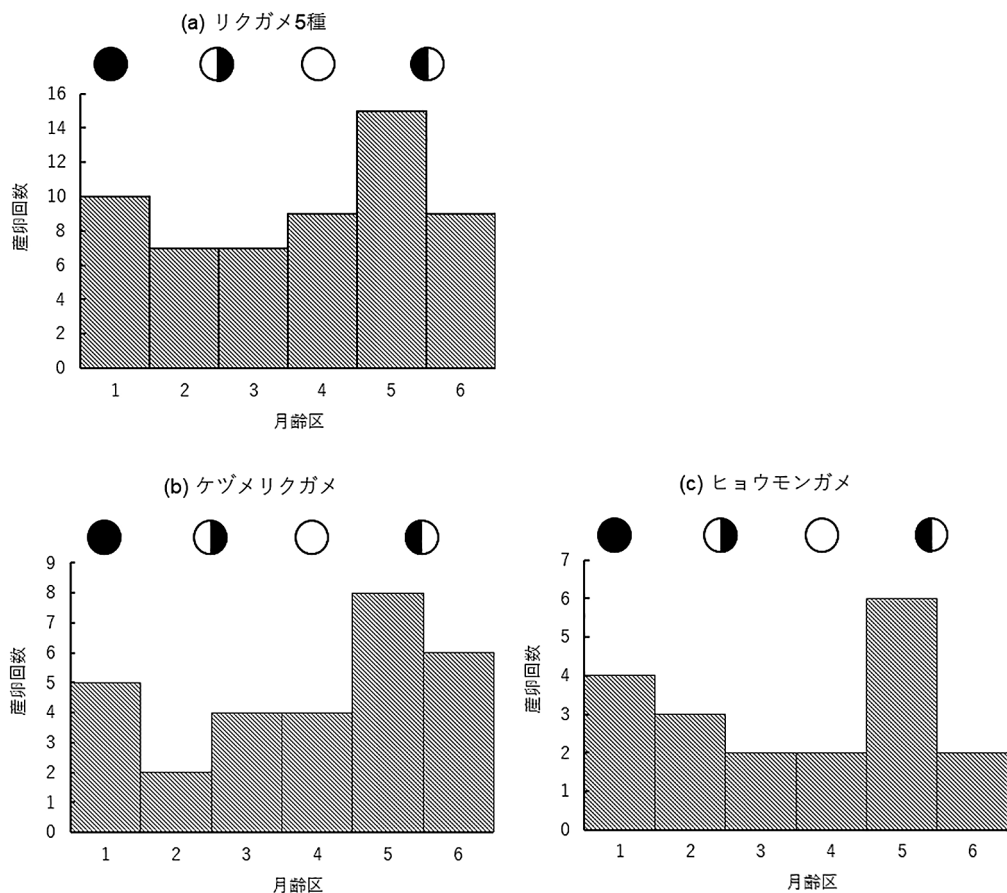


図3. 2010～2019年のいしかわ動物園におけるリクガメ類の産卵回数と月の周期との関係.

(a) リクガメ類5種 (ケヅメリクガメとヒョウモンガメを含む), (b) ケヅメリクガメ, (c) ヒョウモンガメ.

and Holzapfel (2007) は、日長はカメ類の行動を変化させることで間接的に産卵のタイミングに影響を及ぼしている可能性があるとして述べている。このことから、日長は本研究においてリクガメ類の産卵に影響を及ぼした主要因であると断言はできない。しかし、リクガメ類の産卵には日長と気温の両方が必要であるとも考えられる。本研究では、日長が長くなり始めると遅れて気温が上昇し、産卵回数が増えた (図1)。同じく卵生動物である鳥類のうち、日長と気温が産卵に影響することがスパーラルライチョウ (*Lagopus muta hyperborea*) で報告されている。スパーラルライチョウでは、日長が性腺活動を引き起

こすが、周囲の気温が低い状態ではその活動は抑えられていると考えられている (Stokkan et al., 1986)。リクガメ類においても明期が長くなることで引き起こされる性腺活動が低気温により抑制されているのかもしれない。

月の周期と産卵の関係について解析したところ、ケヅメリクガメが産んだ卵の数は下弦の月付近に集中していた。このことは、下弦の月付近で産卵する回数が多かったことによる。ヒョウモンガメでは月の周期の中で有意な産卵の集中が認められなかったが、産卵回数の分布がケヅメリクガメと類似していた (図3)。2010～2019年の間にケヅメリクガメとヒョウモンガメが同日に産卵すること

はなかったにもかかわらず、月の周期における産卵パターンが2種で同様であったことから、月の周期はリクガメ類の産卵に関係している可能性がある。しかし、リクガメ類の産卵の有無に影響を及ぼす要因について解析した結果、月の周期は有意な影響を及ぼしていないと考えられた。月の周期と産卵の関係が不明瞭である原因としては、周囲環境による産卵の妨害が考えられる。カメ類では、メスは産卵環境に不都合があれば、卵を体内に保持し、遅延して産卵することが知られている(例: オオヨコビガメ *Podocnemis expansa*, Alho and Padua, 1982; アミメガメ *Deirochelys reticularia*, Buhlmann et al., 1995)。月の周期による産卵への影響度は気象要因よりも小さいため、上述の卵を保持する特性や光に対する感受性の個体差により産卵日がバラつき、月の周期が産卵に及ぼす影響は見えにくくなっているのかもしれない。図3に示すように、本研究ではケヅメリクガメとヒョウモンガメは満月の後で産卵が多く、同様のタイミングで産卵及び出産が見られた事例はカメ類以外にもあるが(例: ウマ, Kollerstrom, 2004; ヨーロッパヒキガエル, ヨーロッパアカガエル, Grant et al., 2009), 月の光が直接出産及び産卵を引き起こしたのかは不明である。海生魚類のハナアイゴ (*S. argenteus*) とアミアイゴ (*S. spinus*) では、卵巣が月の周期に同調して発達しており、その結果、月の周期で産卵が起こることが示されている(Park et al., 2006)。本研究で収集したデータから、リクガメ類において月の光が直接産卵を引き起こしたのか、卵巣の発達に月の光が関係しているのかについて推測することは難しかった。

本研究により、いしかわ動物園で飼育されているリクガメの産卵の有無に影響を及ぼす主要因は日長及び気温と考えられたが、種間比較の結果から、月の周期も産卵に影響する可能性がある。コスタリカの Nancite 浜に産

卵するヒメウミガメは、下弦の月付近で多く産卵していることが報告されており (Plotkin et al., 1997), 今回調査対象としたいしかわ動物園のリクガメ類と同様であった。ウミガメ類とリクガメ類は生息環境が異なるものの、産卵する月齢が類似することはとても興味深い。様々な生息環境のカメ類で産卵状況を調査することにより、月がどのようなメカニズムでカメ類の産卵に影響を及ぼすかを明らかにできる可能性がある。

謝 辞

いしかわ動物園にはカメ類の産卵データを提供いただき、多大なご協力をいただいた。同園の松島一富園長に深謝する。

引用文献

- Alho, C. J. R. and L. F. M. Padua. 1982. Reproductive parameters and nesting behavior of the Amazon turtle *Podocnemis expansa* (Testudinata: Pelomedusidae) in Brazil. *Canadian Journal of Zoology* 60: 97–103.
- Baker, G. C. and R. W. R. J. Dekker. 2008. Lunar synchrony in the reproduction of the Moluccan Megapode *Megapodius wallacei*. *Ibis* 142(3): 382–388.
- Berry, A. J. and E. Chew, 1973. Reproductive systems and cyclic release of eggs in *Littorina melanostoma* from Malayan mangrove swamps (Molluca: Gastropoda). *Journal of Zoology* 171(3): 333–344.
- Bradshaw, W. E. and C. M. Holzapfel. 2007. Evolution of animal photoperiodism. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 38: 1–25.
- Buhlmann, K. A., T. K. Lynch, J. W. Gibbons, and J. L. Greene. 1995. Prolonged egg retention in the turtle *Deirochelys reticularia* in South Caroline. *Herpetologica* 51(4): 457–462.
- Burney, C. M., C. A. Mattison, and L. E. Fisher. 1990. The Relationship of loggerhead nesting patterns and moon phase in Broward County, Florida. *Marine and Environmental Sciences Faculty Proceedings, Presentations, Speeches, Lectures*. 294. https://nsuworks.nova.edu/occ_facpresentations/294
- Congdon, J. D., G. L., D. W. Tinkle., G. L. Breitenbach, and R. C. Van Loben Sels. 1983. Nesting ecology

- and hatching success in the turtle *Emydoidea blandingi*. *Herpetologica* 39(4): 417–429.
- Escalona, T., N. Valenzuela, and D. C. Adams. 2019. Do local environmental factors and lunar cycle influence timing and synchrony of oviposition of a turtle with strict nocturnal nesting? *Diversity* 11(5): 78.
- Girondot M. and J. Fretey. 1996. Leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, nesting in French Guiana, 1978–1995. *Chelonian Conservation and Biology*. 2(2): 204–208.
- Grant, R. A., E. A. Chadwick, and T. Halliday. 2009. The lunar cycle: a cue for amphibian reproductive phenology? *Animal Behavior* 78(2): 349–357.
- Hoque, M. M., A. Takemura, S. Matsuura, and K. Takano. 1999. Lunar spawning in *Signaus canaliculatus*. *Journal of Fish Biology* 55(6): 1213–1222.
- Kennedy, B. and J. S. Pearse. 1975. Lunar synchronization of the monthly reproductive rhythm in the sea urchin *Cetrostephanus coronatus* Verrill. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 17(3): 323–331.
- Kollerstrom, N. 2004. Lunar effect on thoroughbred mare fertility: an analysis of 14 years of data, 1986–1999. *Biological Rhythm Research* 35(4–5): 317–327.
- Park Y. J., A. Takemura, and Y. D. Lee. 2006. Annual and lunar-synchronized ovarian activity in two rabbitfish species in the Chuuk lagoon, Micronesia. *Fisheries Science* 72(1): 166–172.
- Plotkin, P. T., D. C. Rostal, R. A. Byles, and D. W. Owens. 1997. Reproductive and developmental synchrony in female *Lepidochelys olivacea*. *Journal of Herpetology* 31(1): 17–22.
- Saavedra, M. and P. Pousao-Ferreira. 2006. A preliminary study on the effect of lunar cycles on the spawning behavior of the gilt-head sea bream, *Sparus aurata*. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 86(4): 899–901.
- Stokkan, K. A., P. J. Sharp, and S. Unander. 1986. The annual breeding cycle of the high-arctic Svalbard ptarmigan (*Lagopus mutus hyperboreus*). *General and Comparative Endocrinology* 61: 446–451.
- Weishampel, J. F., D. A. Bagley, and L. M. Ehrhart. 2004. Earlier nesting by loggerhead sea turtles following sea surface warming. *Global Change Biology* 10: 1424–1427.
- Yonezawa, T., M. Uchida, M. Tomioka, and N. Matsuki. 2016. Lunar cycle influences spontaneous delivery in cows. *PLoS ONE* 11(8): 1–8.