

神奈川県立博物館
研究報告
自然科学41号

神奈川県立 生命の星・地球博物館

平成24年3月

目 次

動物学

佐藤武宏：東京湾盤洲干潟におけるイボキサゴの成長について.....	1
石原 元・Michelle Treloar・Peter H. F. Bor・瀬能 宏・鄭 忠勲：ガンギエイ目エイ類の卵 殻の比較形態学的研究	9

植物学

勝山輝男：日本で記録されたイネ科オヒゲシバ属の外来種.....	27
---------------------------------	----

博物館学

広谷浩子・加藤ゆき・猪尾武達：小学生に人類進化を教える出張授業—博物館の特性をい かした学校向け理科学習プログラムの作成と実践—.....	35
--	----

CONTENTS

Zoology

Takehiro Sato: Growth of the button top <i>Umbonium moniliferum</i> (Lamarck) (Mollusca: Gastropoda: Trochidae) at Banzu Tidal Flat, Tokyo Bay, Central Japan	1
Hajime Ishihara, Michelle Treloar, Peter H.F. Bor, Hiroshi Senou & Choong H. Jeong: The Comparative Morphology of Skate Egg Capsules (Chondrichthyes: Elasmobranchii: Rajiformes)	9

Botany

Teruo Katsuyama: Exotic species of the genus <i>Chloris</i> (Poaceae) known in Japan.....	27
---	----

Museology

Hiroko Kudo-Hirotani, Yuki Kato & Takesato Io: Museum Educational Program for Visit Lecture to Elementary School: Human Origins and Evolution	35
--	----

東京湾盤洲干潟におけるイボキサゴの成長について

Growth of the Button Top *Umbonium moniliferum* (Lamarck) (Mollusca: Gastropoda: Trochidae)
at Banzu Tidal Flat, Tokyo Bay, Central Japan佐藤武宏¹⁾Takehiro SATO¹⁾

Abstract. Growth of button top *Umbonium moniliferum* (Lamarck, 1822) (Mollusca: Gastropoda: Trochidae) at Tokyo Bay was analysed statistically. The size frequency distributions of the population were shown based on synodic monthly sampling at Banzu Tidal Flat (lat. 35°24'52.5"N, long. 139°53'22.9"E, WGS84 map datum) from June 2005 to July 2007. Each size frequency distribution was decomposed into several normal distributions of various cohorts assuming that it was normal mixture distribution. The equation of the growth curve was calculated. It is suggested that the population of the *U. moniliferum* consists of two cohorts per every year. Most of the individuals belong to the one cohort. As for the major cohort, the result insist that the reproduction occurs in November, the growth advances mainly in summer, life span is at least nearly four years and the maximum shell diameter reaches to 23 millimeters.

Key words: growth analysis, growth curve, size frequency distribution, normal mixture distribution, *Umbonium moniliferum*

はじめに

イボキサゴ *Umbonium moniliferum* (Lamarck, 1822)(図 1) は北海道南部から九州にかけて分布し、潮間帯付近の砂底および砂泥底に生息するニシキウズガイ科の巻貝である(佐々木, 2000)。本種は近縁種であるキサゴ *U. costatum* (Valenciennes, 1838) に形態的に類似するが、キサゴに比較して殻が小型であり、臍部滑層が大きい点で区別される。また、キサゴが外海的環境の砂底に生息するのに対して、イボキサゴは砂質干潟に生息するという特徴を持つ。

これまでイボキサゴの成長については、福岡県津屋崎干潟(Shimoyama, 1985; 小澤, 1997)、熊本県茂木根(本渡)干潟(Tamaki, 1994; 小菅ほか, 1994; Harada *et al.*, 2005)において調べられてきた。これらの研究は定期的なサンプリングによって繁殖時季、成長時季、寿命を推定したものであるが、成長曲線とその曲線式を求めるには至っておらず、複数の個体群について成長を比較するには不十分な点も多い。

イボキサゴと同属のダンベイキサゴ *U. giganteum*

(Lesson, 1833) では、神奈川県藤沢(佐藤ほか, 2009)と千葉県九十九里(柴田, 1993; 大畑ほか, 2002)では繁殖時季が異なるなど、地域によって生活史が異なることが明らかにされている。したがって、イボキサゴについても個体群



図 1. 東京湾盤洲干潟で採集されたイボキサゴの成体の殻。KPM-NGD020309. スケールは 5mm.

Fig. 1. A shell of an adult button top *Umbonium moniliferum* collected at Banzu Tidal Flat, Tokyo Bay. KPM-NGD020309. Scale bar represents 5 millimeters.

¹⁾ 神奈川県立生命の星・地球博物館
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499
Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan
sato@nh.kanagawa-museum.jp

によって生活史が異なる可能性があり、これまで調べられてきた九州以外の各地の個体群の成長や繁殖時季を調査し、比較する必要がある。

本種は内湾の砂質干潟に生息するため、20世紀以降の干潟の環境悪化に起因すると思われる個体群の減少が全国各地で顕著であり、兵庫県のレッドデータ生物リストでは絶滅(大原, 2003)に、絶滅危惧Ⅰ類相等として千葉(黒住, 2011)、愛知(木村, 2009)、三重(木村, 2005)、熊本(熊本県希少野生動植物検討委員会, 1998)の各県が県レッドデータ生物リストに、愛媛県のレッドデータ生物リストでは準絶滅危惧(石川, 2003)に位置づけられている。また、相模湾ではかつては三浦半島沿岸を中心に分布していたものの、1994年にはほとんど見られない状態に減少し(池田, 1994)、その後消滅した(池田ほか, 2001)とされている。このように危急の状況にある本種の繁殖時季、成長、寿命などの生活史に関する基本的なデータを蓄積することは、本種の保全や保護を考える際に重要な基礎知識となると考えられる。

東京湾中部東岸に位置する千葉県木更津市畔戸地先の盤洲干潟ではイボキサゴが高密度で生息しているため、多数の個体を用いた殻サイズ組成に基づく成長解析が可能である。そこで本報告では東京湾盤洲干潟に定点を設定し、定期的サンプリングによって殻サイズ組成を測定し、この殻サイズ組成に基づく成長解析をおこなうことにより、イボキサゴの繁殖時季、成長時季、寿命を明らかにし、成長曲線およびその曲線式を求めることを目的とした。

材料と方法

東京湾中部東岸に位置する千葉県木更津市畔戸地先盤洲干潟の、最満潮線から約1km沖合に定点(lat. 35°24'52.5"N, long. 139°53'22.9"E, WGS84 map datum) (図2)を設定し、2005年6月8日から2005年10月31日にかけてと2005年11月13日から2007年5月2日にかけてのほぼ一朔望月間隔ならびに2007年7月4日に調査を実施した。調査定点で表面から深さ3cmまでの堆積物を採集し、目合い1mmの篩を用いてイボキサゴを篩い出した。採集されたイボキサゴについては、殻径をデジタルノギ

スで測定するとともに、一部の個体については殻を破壊して軟体部を露出させ、生殖腺の肥大と縮小の様子について目視および鏡下で観察した。調査の際には定点付近を観察し、死亡した個体の集積が認められるかどうか確認した。2006年4月17日以降の調査では、定点における生息密度を算出した。

軟体動物の絶対成長を解析する手段としては、殻内部に形成される成長縞の解析が最も高精度かつ確実である(佐藤, 2001)が、巻貝の成長線は3次元螺旋の殻体内部に形成されるため、Tojo & Ohno (1999)によるキバウミナ *Terebralia palustris* (Linnaeus, 1767)などの少数の例を除いて、一般には用いられない。殻体状に年輪として刻まれる成長のギャップを利用した成長解析は、イボキサゴと同属のキサゴなどでおこなわれているが(Noda, 1991)、イボキサゴは殻体上に年輪が刻まれないことからこの方法を用いることはできない。イボキサゴは多数の個体を得ることが可能であることから、イボキサゴと同属のダンベイキサゴの成長解析(佐藤ほか, 2009)同様に殻サイズ組成の分析が妥当であると考えられる。そこで、測定した殻径について、殻径組成を示すヒストグラムを作成し、それを利用して成長解析をおこなった。ヒストグラムが多峰性を示す場合には、頻度分布の経時推移がもっとも明確なコホートを C_0 と定義し、 C_0 より大型のコホートを順に C_1 、 C_2 、…、小型のコホートを順に C_{-1} 、 C_{-2} 、…、と定義した。それぞれのコホートの殻径の分布が正規分布であると仮定し、イボキサゴ集団の殻径の分布、すなわち、各コホートの殻径分布の総和である混合正規分布

$$G_e(D) = \sum p_i g_i(D)$$

$$g_i(D) = N(D_i, \sigma_i^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left(-\frac{(D-D_i)^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

N : normal distribution

$i = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$

を満たす、それぞれのコホートの混合率 p_i 、平均値 D_i 、標準偏差 σ_i を求めた。各コホートに対する混合率、平均値、標準偏差を変化させ、それによって算出される各区間の算出頻度 $G_e(D)$ と測定頻度 $G_o(D)$ の差の二乗和

$$\sum (G_e(D) - G_o(D))^2$$

が最小となるような値を求めた。算出には Microsoft Excel for Mac 2011 ver. 14.1.3 (110805) (Microsoft Corp.) ならびにそのアドインである Solver.xlam (Frontline Systems Inc.) を使用した。

それぞれのコホートについて、オスメスの両方が含まれているかどうかを確認した。また、コホート間で殻径に対する殻高、殻長角、臍部滑層の径、殻口高、殻口幅の比率を、佐藤・松島(2000)にしたがって比較し、形態的な変異が存在するかどうかを検討した。

混合正規分布の解析によって得られた値を用いて、成長曲線の推定をおこなった。各調査日におけるそれぞれのコホートの殻径の平均値 D_i はイボキサゴが着底した日からの通算時間、すなわち、着底後の絶対年齢 t 時点における殻径とみなすことができる。イボキサゴはサイズによって生息場所が異なるという傾向が認められている

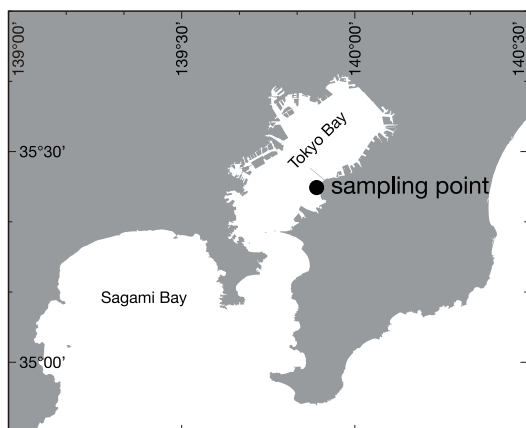


図2. イボキサゴの採集地。

Fig. 2. Map of sampling point of *Umbonium moniliferum*.

ため(小菅ほか, 1994)、採集をおこなった定点においてはある特定の cohorts に偏って採集されている可能性がある、ということ考虑した上でそれぞれの cohorts の絶対年齢を見積もった。これらの絶対年齢と殻径について、赤嶺の成長式(Akamine, 1993)

$$D(t) = \begin{cases} \frac{D_{\infty}}{(1 + r \exp(-k(F(t) - F(t_0))))^{1/r}} & (r \neq 0) \\ \frac{D_{\infty}}{\exp(\exp(-k(F(t) - F(t_0))))} & (r = 0) \end{cases}$$

$$F(t) = t + \frac{a}{2\pi} \sin 2\pi(t - t_1)$$

t : age in year from the day of settlement

について、成長式から求められる殻径 $D(t)$ と混合正規分布によって得られた cohorts の平均値 D_i の差の二乗和

$$\sum (D(t) - D_i)^2$$

が最小となるパラメータ r, k, a, t_0, t_1 を求めた。パラメータの推定には混合正規分布の分解と同様に Microsoft Excel for Mac

2011 ver. 14.1.3 (110805) (Microsoft Corp.) ならびにそのアドインである Solver.xlam (Frontline Systems Inc.) を使用した。

結 果

2005 年 6 月 8 日から 2007 年 7 月 4 日にかけて 26 回の調査をおこなった。調査地点周辺で複数回生体が確認された種は 43 種であった(表 1)。これらの種はいずれも砂質干潟や砂泥質干潟で普通に見られる種であった。これらの種は水深と底質あるいは構造物を含めた基質の種類に応じてパッチ状に分布していた。定点とそのごく近傍ではイボキサゴが排他的に高密度で生息し、他の生物の生息はほとんど認めることができなかった。

定点における多数の死亡個体の集積は、2005 年 9 月 2 日、9 月 30 日、10 月 31 日、11 月 13 日および、2006 年 9 月 8 日、10 月 4 日、11 月 5 日に観察された。集積した死亡個体は、軟体部が生鮮状態のままで残存していて死後直後の状況を呈しているものがほとんどであり、軟体部が失われているものや貝殻破壊性捕食者や穿孔性捕食者による捕食の痕跡が確認されるものはほぼ含まれていなかった。

表 1. 東京湾盤洲干潟に設定したイボキサゴの調査定点近傍で複数回生体が確認された生物。

Table 1. Animals observed twice or more in the synodic monthly investigations around the fixed point for sampling of *Umbonium moniliferum*.

海綿動物門 Porifera	ウメノハナガイ? <i>Pillucina pisidium</i> ?
普通海綿綱 Demospongiae	ヒメシラトリ <i>Macoma incongrua</i>
ナミイソカイメン <i>Halichondria panicea</i>	マテガイ <i>Solen strictus</i>
刺胞動物門 Cnidaria	カガミガイ <i>Phacosoma japonicum</i>
鉢虫綱 Scyphozoa	アサリ <i>Ruditapes philippinarum</i>
ミズクラゲ <i>Aurelia aurita</i>	環形動物門 Annelida
アカクラゲ <i>Chrysaora melanaster</i>	多毛綱 Polychaeta
エチゼンクラゲ <i>Stomolophus nomurai</i>	スゴカイイソメ <i>Diopatra sugokai</i>
花虫綱 Anthozoa	タマシキゴカイ <i>Arenicola brasiliensis</i>
タテジマイソギンチャク <i>Haliplanella lineata</i>	ミズヒキゴカイ <i>Cirriformia comosa</i>
ウメボシイソギンチャク科の一種 Actiniidae sp.	節足動物門 Arthropoda
軟体動物門 Mollusca	軟甲綱 Crustacea
腹足綱 Gastropoda	シロスジフジツボ <i>Fistulobalanus albicostatus</i>
イボキサゴ <i>Umbonium moniliferum</i>	タテジマフジツボ <i>Amphibalanus amphitrite</i>
ホソウミニナ <i>Batillaria cumingii</i>	ニホンスナモグリ <i>Callianassa japonica</i>
シマメノウフネガイ <i>Crepidula onyx</i>	ユビナガホンヤドカリ <i>Pagurus minutus</i>
サキグロタマツメタ <i>Euspira fortunei</i>	マメコブシガニ <i>Philyra pisum</i>
ツメタガイ <i>Glossaulax didyma</i>	イシガニ <i>Charybdis japonica</i>
アカニシ <i>Rapana venosa</i>	アシハラガニ <i>Helice tridens</i>
レイシガイ <i>Thais bronni</i>	ケフサイソガニ <i>Hemigrapsus penicillatus</i>
イボニシ <i>Thais clavigera</i>	コメツキガニ <i>Scopimera globosa</i>
アラムシロ <i>Reticunassa festiva</i>	ヤマトオサガニ <i>Macrophthalmus japonicus</i>
キセワタガイ <i>Philine argentata</i>	棘皮動物門 Echinodermata
アメフラシ <i>Aplysia kurodai</i>	ヒトデ綱 Asteroidea
二枚貝綱 Bivalvia	キヒトデ <i>Asterias amurensis</i>
ムラサキイガイ <i>Mytilus galloprovincialis</i>	脊索動物門 Chordata
ホトトギスガイ <i>Musculista senhousia</i>	ホヤ綱 Ascidiacea
マガキ <i>Crassostrea gigas</i>	シロボヤ? <i>Styela plicata</i> ?
バカガイ <i>Mactra chinensis</i>	軟骨魚綱 Chondrichthyes
シオフキ <i>Mactra veneriformis</i>	アカエイ <i>Dasyatis akajei</i>

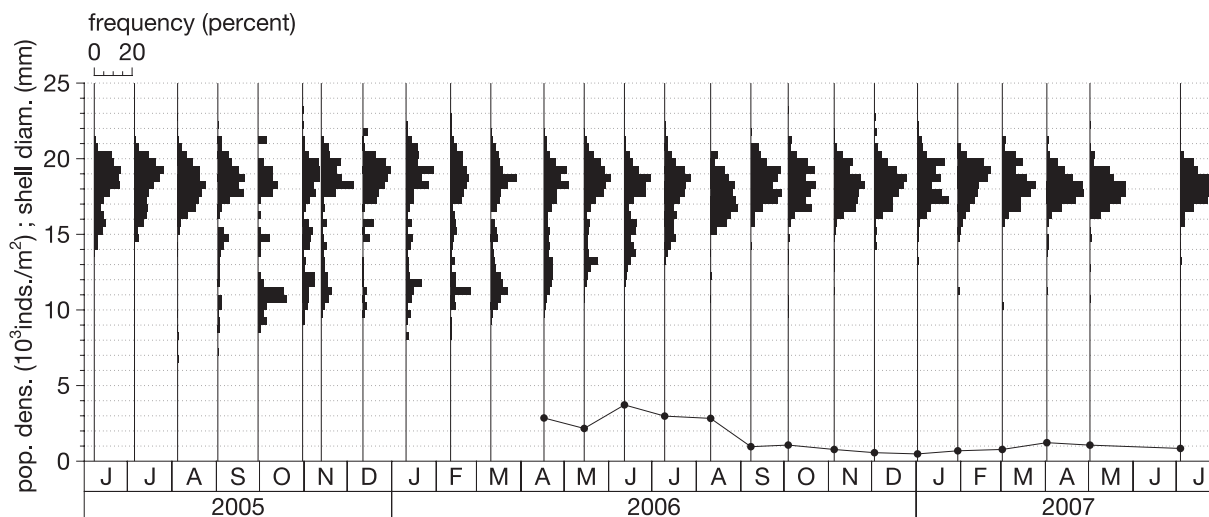


図 3. 東京湾盤洲干潟におけるイボキサゴの生息密度と殻径分布の季節変化. 折れ線グラフは生息密度を、ヒストグラムは殻径分布を示す。

Fig. 3. Seasonal changes in population density and size frequency distributions of *Umbonium moniliferum* collected at Banzu Tidal Flat, Tokyo Bay, Japan. Line chart and histograms represent population density and size frequency distributions respectively.

2006 年 4 月 17 日から 2007 年 7 月 4 日にかけての 15 回の調査では、定点におけるイボキサゴの生息密度を算出した(図 3)。もっとも密度が高かったのは 2006 年 6 月 12 日で、3,722.2 (inds./m²) に達していた。2006 年 8 月 11 日までの調査期間には、生息密度は 3,000 (inds./m²) 前後を推移していたが、2006 年 9 月 8 日には 959.3 (inds./m²) に急減し、それ以降は 1,000 (inds./m²) 前後で推移した。もっとも低い密度を示したのは 2007 年 1 月 2 日で、その値は 480.6 (inds./m²) であった。

生殖腺の肥大と縮小の様子について確認した。生殖腺は春季から夏季にかけて徐々に肥大し、秋季から冬季に急激に収縮する様子が確認された。2005 年には 9 月 2 日に生殖腺が収縮した個体を確認されはじめ、その頻度は 12 月 12 日にかけて徐々に増加した。その後 2006 年 2 月 11 日までの間はほとんどの個体で生殖腺が収縮した状態が続いた。翌年の場合は、2006 年 8 月 11 日に生殖腺が

収縮した個体を確認されはじめ、12 月 3 日にかけて収縮する個体の頻度が増加し、2007 年 3 月 2 日までの間でほとんどの個体で生殖腺が収縮した状態が続いた。

2005 年 6 月 8 日から 2007 年 7 月 4 日にかけての 26 回の調査で測定されたイボキサゴの殻径について、ヒストグラムを作成した(図 3)。ヒストグラムは多峰性を示したため、調査地域においてイボキサゴの個体群は複数のコホートから構成されていることが示された。

これら複数のコホートにはそれぞれオスメスが含まれていた。また、コホート間で殻径に対する殻高、殻長角、臍部滑層の径、殻口高、殻口幅の比率を比較したがいずれも統計的に有意な差を見出すことはできず、形態的な変異を検出することはできなかった。

確認されるコホートのうち、成長の推移がもっとも明瞭なコホートを C₀ と定義したところ、全調査期間内では C₄ から C₄ までの 9 群の存在が確認された。ただし、1 回

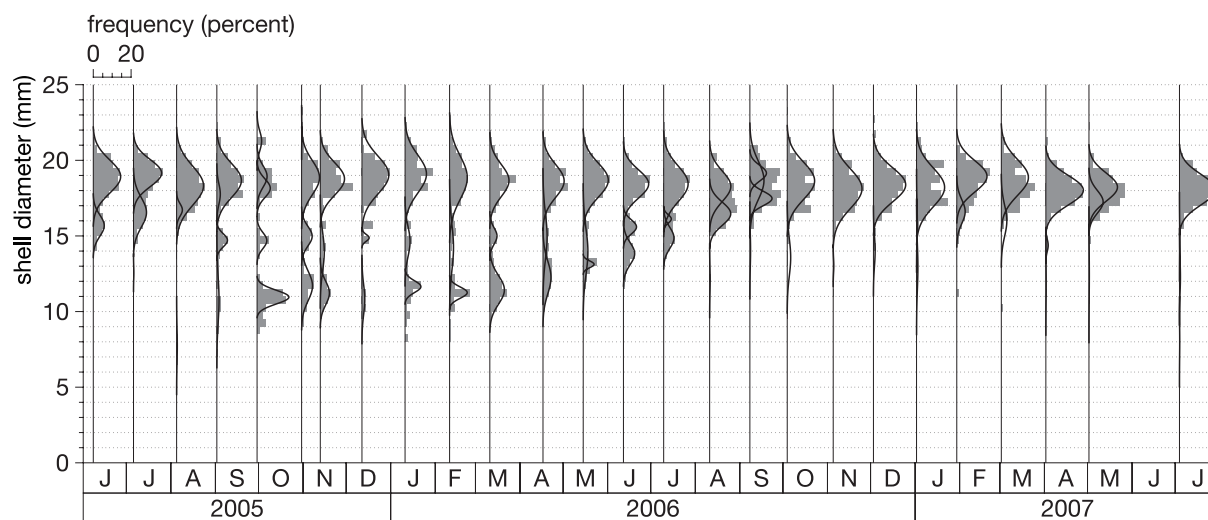


図 4. 東京湾盤洲干潟におけるイボキサゴの殻径分布の季節変化. ヒストグラムは実測値を、曲線は複合正規分布の分解によって得られた、各コホートの殻径分布を示す。

Fig. 4. Seasonal changes in size frequency distributions of *Umbonium moniliferum* collected at Banzu Tidal Flat, Tokyo Bay, Japan. Histograms represent distributions of living population. Overplotted curves represent distributions of each cohorts decomposed from normal mixture distributions.

下位の $\text{C}_{\text{H}} \rightarrow \text{C}_i$ の添字で示した。 $p_i = \text{C}_{\text{H}} \rightarrow \text{C}_i$ の混合率、 $D_i = \text{C}_{\text{H}} \rightarrow \text{C}_i$ の殻径の標準偏差、調査をおこなった日付は「西暦の末尾+月2桁+日2桁」の6桁で表記した。

Table 2. Mixing ratio, means and standard deviations of cohorts of *Umbonium moniliferum* calculated by decomposition of normal mixture distribution. C_i = cohort. The most obviously distinguished cohort is defined as C_0 . C with positive and negative index represent senior and junior cohort respectively. p_i = mixture ratio of cohort C_i . D_i = mean of shell diameter of cohort C_i . σ_i = standard deviation of shell diameter of cohort C_i . Dates of sampling are documented in 'yyymmdd' form.

[illegible]

の調査で同時に識別することができたコホート数は最大で5であった。それぞれのコホート C_i について、混合率 p_i 、平均値 D_i 、標準偏差 σ_i とする混合正規分布を求め(表2)、ヒストグラムに上書きした(図4)。あるコホート C_i に注目すると、その1年後のピークはその時季の C_{i+2} のコホートのピークとほぼ同じ値を、1年前のピークはその時季の C_{i-2} のコホートを示すことが読み取れた。このことからイボキサゴは1年につき成長のプロファイルが異なる2つのコホート、すなわち、添字が0および偶数の系列($\dots, C_{-2}, C_0, C_2, \dots$)と添字が奇数の系列($\dots, C_{-3}, C_{-1}, C_1, C_3, \dots$)を形成することが示された。添字が0および偶数の系列の混合比が大きく、添字が奇数の系列の混合比は小さかったことから、集団におけるほとんどの個体は添字が0および偶数の系列のコホートに所属し、ごく限られた個体のみが添字が奇数の系列のコホートに所属することが示された。

殻径組成の分布は夏季に著しく推移し、冬季には推移が停滞することが確認された。このことから、イボキサゴは夏季に盛んに成長し、冬季には成長が停滞することが示された。

各調査日におけるそれぞれのコホートの殻径の平均値 D_i 、推定着底日からの絶対年齢 t について、赤嶺の成長式(Akamine, 1993)にあてはめた結果、混合比が大きかった添字が0および偶数の系列のコホートについて、成長曲線の式

$$D(t) = \frac{23.34}{\exp(\exp(-0.9487(F(t) - F(0.6025))))}$$

$$F(t) = t + \frac{0.1427}{2\pi} \sin 2\pi(t + 0.7303)$$

t : age in year from the day of settlement (13 November)

を得ることができた(図5)。一方、混合比が小さかった添字が奇数の系列のコホートについては、妥当な成長曲線の式を得ることができなかった。

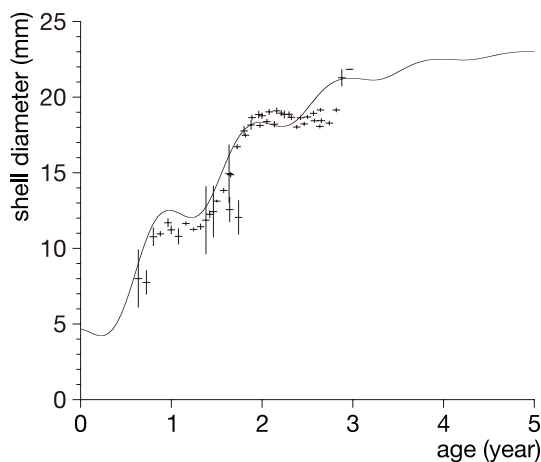


図5. イボキサゴの成長曲線。各コホートについて、横棒は平均殻径を、縦棒は母平均の95%信頼区間を示す。

Fig. 5. Growth curve of *Umbonium moniliferum*. Horizontal bars and vertical bars represent means and 95 percent confidence intervals of the population means of the cohorts respectively.

考 察

調査地域では9月から11月にかけてイボキサゴの多数の死亡個体の集積が確認された。これらの死亡個体は、軟体部が生鮮状態で残存していて死後直後の状況を呈しており、軟体部が失われているものや貝殻破壊性捕食者や穿孔性捕食者による捕食の痕跡が確認されるものがほとんど含まれていないことから、自然死に起因するものであると考えられる。9月に確認された生息密度の急激な低下の原因も多数の個体の自然死によるものと考えられる。

一方、生殖腺の急激な収縮は秋季に確認された。また、春季から夏季にかけて徐々に生殖腺が肥大することも確認された。このことから、春季から夏季にかけて繁殖の準備をおこない、秋季に一気に放精放卵をおこなうことが考えられる。イボキサゴの繁殖期に関しては、福岡県津屋崎干潟では主に10月(小澤, 1997)、熊本県茂木根(本渡)干潟では9月から11月(小菅ほか, 1994; Harada *et al.*, 2005)という報告があるが、秋季に生殖腺が急激に収縮するという今回の観察結果は、これらの先行研究に調和的であった。

殻径組成を混合正規分布に分解し、それぞれのコホートの平均値を赤嶺の成長式(Akamine, 1993)にあてはめることにより、イボキサゴの成長曲線の式を得た。赤嶺の成長式は、フォン・ベルタランフィの成長式およびゴンペルツの成長式を内包するリチャーズの成長式(Richards, 1959)に周期的な季節変動を導入して拡張したものである。今回得られたイボキサゴの成長曲線の式は、貝の成長式として多く用いられるとされる(赤嶺, 2007)ゴンペルツの成長曲線に季節変動を導入した式に相当するものであることが示された。この式は、イボキサゴの近縁種であるダンバイキサゴの成長式(佐藤ほか, 2009)と同等の式であり、結果の妥当性を裏づけると考えられる。

これらの結果から、調査地域においてイボキサゴは秋季に孵化し、算出された推定着底日である11月13日の前後に相当する11月中頃に着底し、1年後に12.2mm、2年後に18.1mm、3年後に21.2mmに達することが示された。予測される収束値は殻径23.3mmであった。着底後3年以降は殻径の増加量が微小になるため寿命を推定するのは困難であるが、寿命は4年弱程度と推定される。

調査では殻径10mm以下の個体はほとんど採集されなかった。殻径10mmに達するには、着底後約0.8年(ほぼ10か月に相当)を要することが推定される。小菅ほか(1994)は熊本県茂木根(本渡)干潟において、幼個体はより汀線に近い水深の浅い場所に生息していることを報告している。本調査地域でもイボキサゴの幼個体はより汀線に近い場所に生息し、繁殖に参加するサイズに成長する時期になってはじめて定点付近に移動してくることが考えられる。

本調査地域ではイボキサゴの個体群は年当たり2コホートから構成されたと考えられた。ヒストグラムの推移が明瞭だった添字が0および偶数の系列のコホート($\dots, C_{-2}, C_0, C_2, \dots$)については成長曲線の式を得ることができたが、添字が奇数の系列のコホート($\dots, C_{-3}, C_{-1}, C_1, C_3, \dots$)については妥当な成長曲線の式を得ることができなかった。この理由として、添字が奇数の系列のコホートに属する個

体が少ないことが挙げられる。個体数が少ないために、たまたまサンプリングされた個体の値のばらつきが過大な影響を与えた可能性があるだろう。このことは、それぞれのコホートの混合率が低いこと(表 2)、 C_0 、 C_2 のヒストグラムが滑らかに推移しているのに対して C_1 、 C_I のヒストグラムのピーク値が図上で上下に振動していること(図 4)などによって示されている。

添字が奇数の系列のコホートは殻径 10mm 以上の場合において、添字が 0 および偶数の系列に帰属する連続する 2 つのコホートの間に位置する。このような添字が奇数の系列が存在する理由として、(1)同時に孵化、着底し、その後の成長率が異なる、ということと(2)孵化、着底の時期が異なるため、位相がずれた成長の様相を示す、ということが考えられる。2 つのコホートはそれぞれオスメスの両方から構成されているため、性差であるという可能性は否定される。同時に孵化、着底し、その後の成長率が異なる、という可能性に関しては、今回の調査からは否定する根拠も肯定する根拠も得ることはできなかった。定点以外の他地域の個体群からの浮遊幼生の供給による新規加入の可能性については、実験下で観察される浮遊期間が 200 時間程度と短いこと(Harada *et al.*, 2005)、かつて東京湾に最も近かった分布地である相模湾では既に個体群が消滅していること(池田ほか, 2001)などから、積極的に支持するだけの根拠は認められない。しかし、このことだけで新規加入を完全に否定することもできないため、さらに詳しく調べる必要があると考えられる。

イボキサゴの近縁種であるダンベイキサゴに注目すると、神奈川県藤沢では 11 月から 12 月にかけて繁殖をおこなうという報告(佐藤ほか, 2009)と、千葉県九十九里では 11 月から 1 月にかけてと 4 月から 7 月にかけての 2 回繁殖をおこなうという報告(柴田, 1993; 大畑ほか, 2002)がなされている。イボキサゴでも同様に、個体群によってあるいは何らかの条件によって年 1 回繁殖する場合と年 2 回繁殖する場合があります、今回の調査で対象とした個体群では調査期間内に 1 年当たり 2 回繁殖をおこなっていて、秋季に繁殖したグループが個体数の多い(添字が 0 および偶数の系列の)コホートを形成し、それ以外の時期に繁殖したグループが個体数の少ない(添字が奇数の系列の)コホートを形成していたという可能性が示唆される。しかし、このことに関してはより詳細な調査をおこなう必要があると考えられる。

まとめ

東京湾中部東岸に位置する千葉県木更津市畔戸地先の盤洲干潟に生息するイボキサゴ *Umbonium moniliferum* (Lamarck, 1822) の成長解析を試みた。殻径分布を混合正規分布と仮定し、それぞれのコホートに分離して成長曲線の式を求めた。

調査地域ではイボキサゴの個体群は 1 年当たり 2 つのコホートから構成されることが示された。この 2 つのコホートのうち、大部分が所属するコホートについて、成長曲線の式を求めることができた。

その結果、イボキサゴの多くの個体は 11 月に孵化し、

夏季に成長し、最大殻径約 23mm に達した後、孵化後約 4 年弱を経た秋季に死亡するということが明らかにされた。

イボキサゴの個体群が 1 年当たり 2 つのコホートから構成される理由については、成長率の違いと孵化時季の違いが予想されるものの、その理由の特定にはさらに詳しい調査が必要である。

謝 辞

名古屋大学博物館の大路樹生教授にはイボキサゴの成長解析をおこなうにあたって手法やデータの取り扱いに関して多くの議論をしていただいたほか、干潟の生物の種間相互作用についてご指導ご助言をいただいた。東京大学大学院の棚部一成教授、遠藤一佳教授はじめ進化・古生物学セミナーの諸氏には本報告をまとめるにあたって多くの実りある議論をしていただいた。神奈川大学の金沢謙一准教授には浅海域の底生生物の分布について意見交換をさせていただいた。北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門の宮地 鼓 博士には調査地域における底生生物の生息状況について情報をいただいた。神奈川県立生命の星・地球博物館の大島光春主任学芸員、石浜佐栄子学芸員には調査に協力していただいた。本報告をまとめるにあたっては日本学術振興会科学研究助成基金助成金(基盤研究(C); 課題番号: 23501050; 研究代表者: 佐藤武宏)の一部ならびに日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(B); 課題番号: 22300276; 研究代表者: 高桑正敏)の一部を使用した。記して心より感謝申し上げる。

引用文献

- Akamine, T., 1993. A new standard formula for seasonal growth of fish in population dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**(11): 1857-1863.
- 赤嶺達郎, 2007. 水産資源解析の基礎. 115 pp. 恒星社厚生閣, 東京.
- Harada, K., S. Ohashi, A. Fujii & A. Tamaki, 2005. Embryonic and larval development of the trochid gastropod *Umbonium moniliferum* reared in the laboratory. *Venus (Journal of the Malacological Society of Japan)*, **63**(3-4): 135-143.
- 池田 等, 1994. 相模湾より消えゆく貝類. 潮騒だより, (5): 6-7.
- 池田 等・倉持卓司・渡辺政美, 2001. イボキサゴ *Umbonium (Suchium) moniliferum* (Lamarck, 1822). 同著, 相模湾レッドデータ-貝類-, p. 26. 葉山しおさい博物館, 神奈川県葉山町.
- 石川 裕, 2003. イボキサゴ. 愛媛県貴重野生動植物検討委員会編, 愛媛県レッドデータブック Red data book, Ehime-愛媛県の絶滅のおそれのある野生生物-, p. 233. 愛媛県県民環境部環境局自然保護課, 愛媛県松山市.
- 木村昭一, 2005. イボキサゴ. 三重県環境森林部自然環境室編, 三重県レッドデータブック 2005 動物. p. 381. 財団法人三重県環境保全事業団, 三重県津市.
- 木村昭一, 2009. イボキサゴ. 愛知県環境調査センター編, 愛知県の絶滅のおそれのある野生生物 レッドデータブックあいち 2009-動物編-, p. 468. 愛知県環境部自然環境課, 名古屋市.
- 小菅丈治・西濱士郎・高山順子, 1994. 天草茂木根干潟の大型底生生物-特にイボキサゴとハマグリ-の生息について-. 南紀生物, **36**(2): 115-119.
- 熊本県希少野生動植物検討委員会(海洋生物分科会: 野島 哲・森 敬介・堤 裕昭・福田 靖・右田清治), 1998. イボキサゴ. 熊本県希少野生動植物検討委員会編, 熊本県の保護上重要な野生動植物 レッドデータブックくまもと. p. 330.

- 熊本県環境生活部自然保護課, 熊本県熊本市.
- 黒住耐二, 2011. イボキサゴ. 千葉県レッドデータブック改訂委員会編, 千葉県の保護上重要な野生生物-千葉県レッドデータブック-動物編 2011 年改訂版. p. 476. 千葉県環境生活部自然保護課, 千葉市.
- Noda, T., 1991. Shell growth of the sand snail, *Umbonium costatum* (Kiener) in Hakodate Bay. *Bulletin of the Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University*, **42**(4): 115-125.
- 大原健司, 2003. 貝類. 兵庫県県民生活部環境局自然保護課編, 改訂・兵庫の貴重な自然-兵庫県版レッドデータブック 2003-. pp. 97, 188-197. 財団法人ひょうご環境創造協会, 神戸市.
- 大畑 聡・柴田輝和・清水利厚・田辺 伸・石田 修, 2002. ダンベイキサゴの産卵と初期発生について. 千葉県水産研究センター研究報告, (1): 45-47.
- 小澤智生, 1997. 食われるための繁栄. 奥谷喬司編, 貝のミラクル 軟体動物の最新学, pp. 210-223. 東海大学出版会, 東京.
- Richards, F. J., 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*, **10**(29): 290-300.
- 佐々木猛智, 2000. ニシキウズガイ科. 奥谷喬司編, 日本近海産貝類図鑑, pp. 55-83. 東海大学出版会, 東京.
- 佐藤慎一, 2001. 絶対成長. 池谷仙之・棚部一成編, 古生物の科学 3. 古生物の生活史, pp. 46-72. 朝倉書店, 東京.
- 佐藤武宏・松島義章, 2000. 多変量解析を用いた化石ウチムラサキガイ (マルスダレガイ科) の殻形態の解析とその古生物学的意義. 化石, (67): 19-31.
- 佐藤武宏・利波之徳・山本章太郎, 2009. 藤沢市地先の相模湾におけるダンベイキサゴの分布と成長について. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), (38): 95-106.
- 柴田輝和, 1993. 九十九里海域におけるダンベイキサゴの産卵期. 日本水産学会誌, **59**(8): 1309-1312.
- Shimoyama, S., 1985. Size-frequency distribution of living populations and dead shell assemblages in a marine intertidal sand snail, *Umbonium* (*Suchium*) *moniliferum* (Lamarck), and their palaeoecological significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **49**: 327-353.
- Tamaki, A., 1994. Extinction of the trochid gastropod, *Umbonium* (*Suchium*) *moniliferum* (Lamarck), and associated species on an intertidal sandflat. *Researches on Population Ecology*, **36**(2): 225-236.
- Tojo, B. & T. Ohno, 1999. Continuous growth-line sequences in gastropod shells. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **145**: 183-191.

摘 要

佐藤武宏, 2012. 東京湾盤洲干潟におけるイボキサゴの成長について. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), (41): 1-8. (Sato, T., 2012. Growth of the button top *Umbonium moniliferum* (Lamarck) (Mollusca: Gastropoda: Trochidae) at Banzu Tidal Flat, Tokyo Bay, central Japan. *Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.)*, (41): 1-8.)

東京湾中部東岸の盤洲干潟において得られたイボキサゴを用いて成長解析をおこなった。この結果、調査地域ではイボキサゴは 1 年当たり 2 つのコホートから構成されることが示された。大多数の個体が所属するコホートについて成長曲線の式を求めた。その結果、イボキサゴの繁殖時季が 11 月、成長時季が夏季、寿命が約 4 年弱、最大殻径が 23mm に達することが明らかになった。

(受付 2011 年 11 月 30 日; 受理 2011 年 12 月 28 日)

The Comparative Morphology of Skate Egg Capsules (Chondrichthyes: Elasmobranchii: Rajiformes)

Hajime ISHIHARA¹⁾, Michelle TRELOAR²⁾, Peter H. F. BOR³⁾, Hiroshi SENOU⁴⁾ & Choong H. JEONG⁵⁾

Abstract. The egg capsules of 64 skate species of 20 genera, among the 30 genera of the order Rajiformes were examined to determine the interrelationships within the order Rajiformes. As a result, we found that there may be four basic lineages in this order, i.e., *Bathyraja* (Arhynchobatidae), *Amblyraja* (Rajidae), *Dipturus* (Rajidae) and *Rostroraja* (Rajidae). It is also likely that the genus *Amblyraja* forms the subfamily Amblyrajinae and the genus *Rostroraja* the subfamily Rostrorajinae. A new genus *Beringraja* is established for two species (*B. binoculata* (Girard, 1855) and *B. pulchra* (Liu, 1932)), in which egg capsules contain more than one embryo. We propose that the genus *Fenestraja* should be re-allocated to the family Arhynchobatidae and that *Raja clavata* Linnaeus, 1758 should be included in the genus *Malacoraja*.

Key words: Rajiformes, egg-capsule, *Beringraja*, Rajidae, Arhynchobatidae, Anacanthobatidae

Introduction

Rajiformes (skates) are the only order of the batoids to be oviparous (egg laying) (Ishiyama 1958). This order is thus regarded as a natural group. The morphology of the skate egg capsule is species specific, making it possible to identify the species from the egg capsule. So far, the egg capsules of at least 90 species have been described by several authors (Table 1). However, these authors studied egg capsules from some restricted areas and did not treat them on a worldwide scale. It is clear from previous studies that the morphology of skate egg capsules is not only useful for species identification, but also to determine the interrelationship between skate species (Ishiyama, 1958; Ishihara, 1990). This has also been found for the morphology of the egg capsules from the ratfishes, class Holocephali (Dean, 1904, 1906, 1912).

At present, the order Rajiformes is divided into three families containing 30 genera (Compagno, 1999, 2005; Ebert

& Compagno, 2007). However, the number of studies into the interrelationships of skates is not prolific and limited to several authors, McEachran & Compagno (1982), McEachran (1984), McEachran & Miyake (1986) and McEachran & Dunn (1998).

The aims of the present study are: to obtain the morphological characteristics for egg capsules of each skate species, to compare those characteristics within the order Rajiformes and to determine the interrelationships of skates based on egg capsule characteristics. To achieve these aims, it is necessary to examine as many egg capsules from the different species as possible. The Rajiformes consist of 245 valid species (Ebert & Compagno, 2007), which are placed in three families and 30 genera (Compagno, 1999, 2005; Ebert & Compagno, 2007). In the present study, egg capsules of 64 species from 20 genera were examined.

Materials and Methods

Collection

Egg capsules were collected from Japanese bottom trawlers or borrowed from scientific institutions. Species identification of the egg capsule was determined by identifying the pregnant female from which the egg capsule was extracted or by identifying the embryo within the egg capsule already showing species identity. Voucher specimens were obtained from the following organizations along with location, depth and date collected:

Organization (Abbreviation)

Biological Science, Kochi University (BSKU)
California Academy of Sciences (CAS)
Institute of Sea Fisheries, Hamburg (ISH)

¹⁾ W&I Associates Co. Ltd.
1020-39 Kudencho, Sakae-ku, Yokohama, Kanagawa 247-0014,
Japan

株式会社 W&I アソシエーツ
〒 247-0014 神奈川県横浜市栄区公田町 1020-39
h.ishihara@wi-associates.co.jp

²⁾ 31 Aruma Street, Mornington, Tasmania 7018, Australia

³⁾ Lepelaarsoord 6, 2317 XK Leiden, The Netherlands

⁴⁾ Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan
神奈川県立生命の星・地球博物館
〒 250-0031 神奈川県小田原市入生田 499

⁵⁾ Regional Research Center for Coastal Environments of Yellow
Sea, Inha University
253 Yonghyun-Dong, Nam-Gu, Incheon, 402-751, Republic of
Korea

Table 1. List of literature describing skate egg capsules in order of publication date.

Authors	Species
Garman, 1899	<i>Raja badia</i>
Holt, 1899	<i>Raja alba</i>
Dollo, 1904	<i>Raja arctowski</i> , <i>Raja blanda</i> (= <i>R. brachyura</i>), <i>R. circularis</i>
Lo Bianco, 1909	<i>Raja asterias</i>
Waite, 1909	<i>Raja nasuta</i>
Williamson, 1913	<i>Raja batis</i> , <i>R. blanda</i> (= <i>R. brachyura</i>), <i>R. circularis</i> , <i>R. clavata</i> , <i>R. fullonica</i> , <i>R. microocellata</i> , <i>R. maculata</i> (= <i>R. montagui</i>), <i>R. macrorhynchus</i> (= <i>R. nidarosiensis</i>), <i>R. oxyrhynchus</i> , <i>R. radiata</i>
Jensen, 1914	<i>Raja spinicauda</i> , <i>Raja hyperborea</i>
Clark, 1919-1922	<i>Raja spinicauda</i> , <i>R. marginata</i> (= <i>R. alba</i>), <i>R. batis</i> , <i>R. circularis</i> , <i>R. clavata</i> , <i>R. fyllae</i> , <i>R. hyperborea</i> , <i>R. lintea</i> , <i>R. maculata</i> (= <i>R. montagui</i>), <i>R. microocellata</i> , <i>R. naevus</i> , <i>R. nidarosiensis</i> , <i>R. oxyrhynchus</i> , <i>R. radiata</i> , <i>R. undulata</i>
Clark, 1926	
Clark, 1929-1932	
DeLacy & Chapman, 1935	<i>Raja binoculata</i> , <i>R. rhina</i>
Vladykov, 1936	<i>Raja diaphanes</i> , <i>R. erinacea</i> , <i>R. laevis</i> , <i>R. radiata</i> , <i>R. scabrata</i> (= <i>R. radiata</i>)
Breder & Nichols, 1937	<i>Raja eglanteria</i>
Breder & Atz, 1938	<i>Raja eglanteria</i>
Whitley, 1938	? <i>Raja australis</i> , ? <i>R. dentata</i> , ? <i>R. lemprieri</i> , <i>R. nasuta</i> , ? <i>R. nitida</i> , ? <i>Irolita waitii</i>
Ishiyama, 1950	<i>Raja kenoei</i> (= <i>Dipturus kwangtungensis</i>), <i>R. fusca</i> (= <i>Okamejei kenoei</i>), <i>R. garmani</i> (= <i>O. acutispina</i>), <i>R. hollandi</i> (= <i>O. boesemani</i>), <i>R. macrophthalmus</i> (= <i>O. meerdervoortii</i>), <i>R. meerdervoortii</i> meerdervoortii (= <i>O. kenoei</i>), <i>R. pulchra</i> , <i>R. parmifera</i> , <i>R. isotrachys</i> (= <i>Bathyrja bergi</i>), <i>R. diplotaenia</i>
Follett, 1952	<i>Raja trachura</i> (= <i>Bathyrja abyssicola</i>)
Bigelow & Schroeder, 1953	<i>Raja erinacea</i>
Andriashev, 1954	<i>Raja batis</i> , <i>R. hyperborea</i> , <i>R. radiata</i>
Kreff, 1957	<i>Raja spinicauda</i>
Ishiyama, 1958	<i>Breviraja parmifera</i> , <i>B. trachouros</i> , <i>B. tobitukai</i> , <i>Raja acutispina</i> , <i>R. hollandi</i> (= <i>O. boesemani</i>), <i>R. gigas</i> , <i>R. fusca</i> (= <i>O. kenoei</i>), <i>R. porosa meerdervoortii</i> (= <i>O. kenoei</i>), <i>R. porosa tobae</i> (= <i>O. kenoei</i>), <i>R. kenoei</i> (= <i>Dipturus kwangtungensis</i>), <i>R. macrocauda</i> , <i>R. macrophthalma</i> (= <i>O. meerdervoortii</i>), <i>R. pulchra</i> , <i>R. tengu</i> , <i>Rhinoraja kujiensis</i> , <i>Rh. longicauda</i> , <i>Rh. odai</i>
Cox, 1963	<i>Breviraja kincaidii</i> (= <i>Bathyrja interrupta</i>), <i>Raja trachura</i> (= <i>B. abyssicola</i>), <i>Raja stellulata</i> , <i>Raja binoculata</i> , <i>R. inornata</i> , <i>R. rhina</i>
Hitz, 1964	<i>Raja binoculata</i>
Boeseman, 1967	<i>Raja nidarosiensis</i>
Wallace, 1967	<i>Anacanthobatis marmoratus</i> , <i>Raja alba</i> , <i>R. miraletus</i> , <i>R. barnardi</i> (= <i>R. wallacei</i>)
McEachran, 1970	<i>Raja garmani</i>
Hart, 1973	<i>Raja kincaidii</i> , <i>Raja binoculata</i> , <i>R. rhina</i> , <i>R. stellulata</i>
Ishiyama & Ishihara, 1977	<i>Bathyrja maculata</i> , <i>B. caeluronigricans</i> (= <i>B. matsubarae</i>), <i>B. minispinosa</i>
Templeman, 1982	<i>Raja radiata</i>
Lamilla <i>et al.</i> , 1984	<i>Psammobatis lima</i>
Ishihara & Ishiyama, 1985	<i>Bathyrja pseudoisotrachys</i> (= <i>B. bergi</i>), <i>B. interrupta</i>
Ishihara, 1987	<i>Raja boesemani</i> , <i>R. kenoei</i> , <i>R. kwangtungensis</i> , <i>R. meerdervoortii</i>
Bor, 1998	<i>Raja alba</i> , <i>R. batis</i> , <i>R. brachyura</i> , <i>R. circularis</i> , <i>R. clavata</i> , <i>R. fyllae</i> , <i>R. microocellata</i> , <i>R. montagui</i> , <i>R. naevus</i> , <i>R. radiata</i> , <i>R. undulata</i>
Stehmann & Merrett, 2001	<i>Bathyrja richardsoni</i>
Ebert 2005	<i>Bathyrja aleutica</i> , <i>B. interrupta</i> , <i>B. lindbergi</i> , <i>B. maculata</i> , <i>B. minispinosa</i> , <i>B. parmifera</i> , <i>B. taranetzi</i> , <i>B. trachura</i>
Treloar <i>et al.</i> , 2006	<i>Amblyraja</i> cf. <i>hyperborea</i> , <i>Dipturus</i> sp. A, <i>D. sp. B</i> , <i>D. sp. L</i> , <i>D. cerva</i> , <i>D. cf. gudgeri</i> , <i>D. whitleyi</i> , <i>Pavoraja nitida</i>
Ebert & Davis, 2007	<i>Amblyraja badia</i> , <i>Bathyrja abyssicola</i> , <i>B. aleutica</i> , <i>B. kincaidii</i> , <i>B. microtrachys</i> , <i>B. spinosissima</i> , <i>B. trachura</i> , <i>Raja binoculata</i> , <i>R. inornata</i> , <i>R. rhina</i> , <i>R. stellulata</i>

JLB Smith Institute of Ichthyology, Rhodes University (RUSI)
 Kanagawa Prefectural Museum of Natural History (KPM)
 Los Angeles County Museum (LACM)
 Museum, Tokyo University of Fisheries (MTUF)
 National Museum, New Zealand (NMNZ)
 National Science Museum, Tokyo (NSMT)
 Royal British Columbia Museum (RBCM)
 Texas A&M University Wildlife Collection (TCWC)
 Virginia Institute of Marine Sciences (VIMS)

Materials Examined

Genus *Bathyrja* 16 species

B. abyssicola (Gilbert, 1896): LACM 3772-1, 105.8 mm capsule length
 × 65.2 mm, capsule width, 32°33' N; 120°05' W, Aug. 8, 1978.

B. aleutica (Gilbert, 1895): KPM-NI 28909, 128.0 × 90.0 mm,
 Same Fish Market, Aomori Prefecture, 1952; MTUF 26070,
 126.0 × 89.0 mm, off Abashiri, Hokkaido, Dec., 1971.

B. bergi Dolganov, 1983: KPM-NI 28912, 118.0 × 85.0 mm,
 off Akita; MTUF 26071, 117.7 × 84.6 mm, off Monbetsu,
 Hokkaido, Dec., 1952.

B. diplotaenia (Ishiyama, 1952): KPM-NI 28908, 110.0 × 76.0
 mm, no data; MTUF 26159, 114.0 × 75.4 mm, off Muroran,
 Hokkaido, Oct. 18, 1948.

B. interrupta (Gill & Townsend, 1897): MTUF 26160, 83.8 ×
 69.0 mm, 58°30' N; 175°10' W, 300 m depth, Oct. 20, 1962.

B. irrassa Hureau & Ozouf-Costaz, 1980: MTUF 24832, 113.8 ×
 73.6 mm, 48°18' S; 70°52' E, Nov. 23, 1977.

- B. maccaini* Springer, 1971: MTUF 26161, 156.6 × 80.0 mm, 62°24' S; 61°01' W, 107–109 m depth, Jan. 27, 1982.
- B. maculata* Ishiyama & Ishihara, 1977: MTUF 26162, 101.9 × 62.8 mm, 61°07' N; 179°10' W, 245 m depth, May 30, 1963.
- B. matsubara* (Ishiyama, 1952): MTUF 26163, 111.4 × 64.8 mm, off Same, Aomori Prefecture, May 23, 1951.
- B. minispinosa* Ishiyama & Ishihara, 1977: MTUF 26164, 75.9 × 55.1 mm, 58°30' N; 175°10' W, 300 m depth, Oct. 20, 1962.
- B. parmifera* (Bean, 1881): KPM-NI 28911, 130.0 × 89.0 mm, Bering Sea, 1962; MTUF 26166, 129.0 × 88.7 mm, Bering Sea, 1962.
- B. shuntovi* Dolganov, 1983: MMNZ 6757, 87.9 × 46.6 mm, 48°15.5' S; 177°48.5' E, 503–512 m depth, Nov. 17, 1975.
- B. smirnovi* (Soldatov & Pavlenko, 1915): KPM-NI 28910, 125.0 × 88.0 mm, no data; MTUF 26167, 124.0 × 87.4 mm, off Tsuiyama, Hyogo Prefecture, Feb. 20, 1966.
- B. trachouros* (Ishiyama, 1958): MTUF 26168, 116.4 × 84.0 mm, off Shiogama, Miyagi Prefecture, May, 1951.
- B. trachura* (Gilbert, 1892): MTUF 26169, 74.6 × 61.1 mm, Gulf of Alaska, Oct., 1987.
- B. violacea* (Suvorov, 1935): MTUF 26170, 67.4 × 85.4 mm, off Abashiri, Hokkaido, Oct. 2–3, 1971.
- Genus *Notoraja* 1 species
- N. tobitukai* (Hiyama, 1940): BSKU 23096, 36.0 × 24.8 mm, 32°53' N; 133°29.1' E, 483 m depth, Nov. 14, 1981.
- Genus *Brochiraja* 1 species
- B. asperula* (Garrick & Paul, 1974): NSMT P42505, 37.3 × 22.0 mm, 48°27' S; 179°03' E, 637–638 m depth, Nov. 14, 1983.
- Genus *Psammobatis* 3 species
- P. rudis* Günther, 1870: ISH 499-178, 56.9 × 34.1 mm, 52°45.7' S; 63°47.9' W, 295 m depth, Aug. 24, 1978.
- P. rutrum* Jordan, 1890: ISH 81-171, 52.2 × 35.4 mm, 49°30' S; 66°30' W, 100 m depth, Jan. 20, 1971.
- P. scobina* (Philippi, 1857): LACM 10438-4, 52.0 × 31.4 mm, 52°35' S; 65°08' W, 128 m depth, Feb. 13, 1964.
- Genus *Rhinoraja* 5 species
- R. kujiensis* (Tanaka, 1916): MTUF 26171, 110.8 × 71.8 mm, off Same, Aomori Prefecture, May, 1951.
- R. longicauda* Ishiyama, 1952: MTUF 26172, 85.0 × 48.0 mm, off Shiogama, Miyagi Prefecture, May 22, 1951.
- R. murrayi* Günther, 1880: MTUF 26165, 59.8 × 33.6 mm, Kerguelen Islands, Jan. 14, 1985.
- R. odai* Ishiyama, 1958: MTUF 26173, 56.8 × 31.5 mm, off Mikomoto-jima, Shizuoka Prefecture, 330–350 m depth, 1952.
- R. taranetzi* Dolganov, 1983: RBCM 989-92, 67.3 × 46.6 mm, Alaska, July 16, 1989.
- Genus *Atlantoraja* 1 species
- A. castelnaui* (Ribero, 1904): ISH 439-178, 103.0 × 80.0 mm, 41°27.5' S; 64°04.5' W, 100 m depth, July 24, 1978.
- Genus *Sympterygia* 1 species
- S. bonapartei* Müller & Henle, 1841: LACM 10438-3, 81.0 × 31.4 mm, 52°35' S; 65°08' W, 128 m depth, Feb. 13, 1964.
- Genus *Amblyraja* 3 species
- A. doellojuradoi* (Pozzi, 1935): ISH 112-171, 86.4 × 56.2 mm, 53°0' S; 64°0' W, 295–300 m depth, Aug. 12, 1971.
- A. georgiana* (Norman, 1938): ISH 315-176B, 116.5 × 80.0 mm, 54°39' S; 34°55' W, 463–497 m depth, Dec. 12, 1967.
- A. radiata* (Donovan, 1808): MTUF 26692, 79.7 × 63.4 mm, 44°02' N; 52°0' W, 91 m depth, May 19, 1949; ISH 210-159, 50.2 × 41.3 mm, 56°45' N; 1°49' E, 95 m depth, Dec. 17, 1959.
- Genus *Dipturus* 7 species
- D. batis* (Linnaeus, 1758): MTUF 26174, 217.1 × 124.7 mm, off Concarneau, 1989.
- D. gigas* (Ishiyama, 1958): KPM-NI 28907, 218.0 × 138.0 mm, South China Sea, 1952; MTUF 26175, 220.0 × 140.0 mm, South China Sea, 1952.
- D. kwangtungensis* (Zhu, 1960): MTUF 26176, 65.0 × 40.0 mm, off Shimonoseki, Yamaguchi Prefecture, 1950.
- D. laevis* (Mitchell, 1817): CAS 64131, 70.8 × 46.2 mm, Shrimp Pass, year unknown.
- D. macrocauda* (Ishiyama, 1955): MTUF 26177, 130.0 × 60.0 mm, off Miya, Aichi Prefecture, March, 1951.
- D. nasutus* (Müller & Henle, 1841): NMNZ 8353, 121.7 × 71.4 mm, 47°11' S; 167°41' E, 29–31 m depth, Feb. 22, 1972.
- D. tengu* (Jordan & Fowler, 1903): MTUF 26682, 85.0 × 55.0 mm, no data.
- Genus *Fenestraja* 1 species
- F. sp.* : TCWC 2196-1, 44.0 × 25.8 mm, off Pascagoula, Mississippi, Oct., 1955
- Genus *Leucoraja* 5 species
- L. erinacea* (Mitchell, 1825): VIMS 01340, 53.0 × 36.0 mm, 42°39' N; 66°10' W, 62 m depth, Nov. 17, 1969.
- L. fullonica* (Linnaeus, 1758): MTUF 26693, 82.0 × 48.0 mm, off Concarneau, March, 1987.
- L. naevus* (Müller & Henle, 1841): MTUF 26694, 61.0 × 34.0 mm, off Concarneau, March, 1987.
- L. ocellata* (Mitchell, 1815): VIMS 01358, 78.0 × 48.0 mm, 43°25.5' N; 60°30' W, July 23, 1970.
- L. wallacei* (Hulley, 1970): RUSI A4802, 73.0 × 42.0 mm, Eastern Cape, South Africa, Sept. 29, 1986.
- Genus *Malacoraja* 1 species
- M. senta* (Garman, 1885): VIMS 01333, 55.0 × 41.9 mm, 42°16' N; 69°27' W, 200 m depth, Dec. 23, 1969.
- Genus *Okamejei* 5 species
- O. acutispina* (Ishiyama, 1958): KPM-NI 28904, 50.0 × 26.0 mm, no data; MTUF 26683, 49.4 × 26.3 mm, off Obama, Shimane Prefecture, 1952.
- O. boesemani* (Ishihara, 1987): KPM-NI 28902, 60.0 × 36.0 mm, East China Sea, 1952; MTUF 26684, 60.6 × 36.7 mm, East China Sea, 1952.
- O. kenojei* (Müller & Henle, 1841): KPM-NI 28903, 48.0 × 29.0 mm, off Choshi, Chiba Prefecture, 1956; MTUF 26685, 47.8 × 29.1 mm, off Choshi, Chiba Prefecture, 1956.
- O. meerdervoortii* (Bleeker, 1860): KPM-NI 28906, 34.0 × 24.0 mm, off Maizuru, Kyoto-fu, 1948; MTUF 26686, 34.7 × 24.8 mm, off Maizuru, Kyoto-fu, 1948.
- O. schmidtii* (Ishiyama, 1958): KPM-NI 28905, 55.0 × 31.0 mm, off Miya, Aichi Prefecture, 1952; MTUF 26687, 56.0 × 30.3

mm, off Miya, Aichi Prefecture, 1951.

Genus *Raja* 4 species

R. clavata Linnaeus, 1758: MTUF 26686, 83.0 × 68.6 mm, off Concarneau, 1987.

R. microocellata Montagu, 1818: MTUF 26690, 52.0 × 32.0 mm width, off Rousset, Bretagne, June, 1986.

R. miraletus Linnaeus, 1758: RUSI A4786, 45.5 × 29.0 mm, West Cape, South Africa, Sept. 21, 1986.

R. montagui Fowler, 1980: MTUF 26691, 71.0 × 43.0 mm, off Rousset, Bretagne, June, 1985.

Genus *Rajella* 3 species

R. bigelowi (Stehmann, 1978): TCWC 2720-1, 53.0 × 29.9 mm, 39°04'N; 72°32' W, 778 m depth, Jan. 14, 1974.

R. fuliginea (Bigelow & Schroeder, 1954): TCWC 6443-1, 125.0 × 75.0 mm, 27°35' N; 92°22' W, 768–781 m depth, June 9, 1985.

R. leopardus (von Bonde & Swart, 1923): MTUF 26695, 74.0 × 74.5 mm, 20°27.4' S; 17°53.6' W, 800 m depth, March 24, 1983.

Genus *Rostroraja* 1 species

R. alba (Lacepède, 1803): MTUF 30567, 141.0 × 120.4 mm, False Bay, Cape Town, 1988.

Genus *A sensu* Compagno (1999, 2005) and Ebert & Compagno (2007) 3 species

Raja binoculata Girard, 1855: RBCM 986-60, 228.0 × 194.5 mm, Hecate Strait, June 6, 1969.

Raja pulchra Liu, 1932: MTUF 26681, 145.0 × 70.0 mm, Sea of Japan, 1963.

Raja rhina Jordan & Gilbert, 1880: RBCM 986-61, 103.0 × 69.4 mm, Cherry Point, Feb., 1965.

Genus *B sensu* Compagno (1999, 2005) and Ebert & Compagno (2007) 1 species

Raja eglanteria Bosc, 1802: MTUF 26689, 71.0 × 43.0 mm, Panacea, Gulf of Mexico, May, 1984.

Genus *Anacanthobatis* 1 species

A. ori (Wallace, 1967): MTUF P30568, 36.0 × 19.0 mm, 25°28.3' S; 35°28.7' E, 1,230–1,260 m depth, Nov. 23, 1988.

Genus *Cruriraja* 1 species

C. parcomaculata Smith, 1964: RUSI A3428, 45.0 × 24.4 mm, West Cape, South Africa, 255 m depth, June 27, 1986.

Egg Capsule Morphology

Methods for the measurements of skate egg capsules followed those of Ishiyama and Ishihara (1977). The size of the egg capsule normally correlates with that of the female parent (Ishiyama, 1958), although there are exceptions. In *Amblyraja radiata* (Donovan, 1808), for example, the relative size of the egg capsules differed between the populations of the American and European coasts (Templeman, 1982).

The definitions for the components of the egg capsule were adapted from Bigelow & Schroeder (1953), Ishiyama (1958), Ishiyama (1967) and Ishiyama & Ishihara (1977) (Fig. 1).

The rectangular portion containing the embryo is called the 'main portion'; the ratio between the length and width of the main portion is almost constant. Egg capsules vary in shape from

species to species, from a long rectangular form to an almost square form. The dorsal side of the egg capsule refers to the side that is more concave in shape since it is positioned along the ventral side of the female's body, and thus follows the contour of the cavity. The projections arising from the four corners are called the 'horns'; the length and shape of the horns are important characters to identify a species, but are fragile and easily damaged. The thin portion at each side of the egg capsule is called the 'lateral keel'; the degree of development and thickness of the lateral keels also serve as important characters to identify egg capsules. The thin portions at the anterior and posterior ends of the egg capsules are the 'anterior apron' and 'posterior apron' respectively. The terms "anterior" and "posterior" correspond to the direction in which the egg capsule is positioned inside the oviduct of the mother. When the egg capsule is deposited, the posterior end is determined by examining the shape of the apron and the length of the horns. The posterior horns (if undamaged) are usually longer than the anterior horns and the posterior apron is usually straight or less concave compared with the anterior apron. The degree of development and the thickness of the aprons also serve as identifying characteristics. For example, in a Japanese skate, *Dipturus gigas* (Ishiyama, 1958), the aprons are united with the horns. Any free filaments attached to the lateral keel (sometimes observed in skate egg capsules) are called 'tendrils'. The number of species that have tendrils attached to the lateral keel is restricted. Each horn has an opening, the 'respiratory fissure', to allow seawater to enter for respiration; the location of these fissures on the horns is variable, ranging from the tip to the base. For example, the respiratory fissures are located at the base of the horns in *Bathyraja* species and, on the contrary, they are located at the tip of the horns in *Okamejei* species. The surface of the main portion of the egg capsule is sometimes rough due to the presence of ridges, called 'longitudinal ridges', running lengthways along the capsule. Egg capsules are also covered by thin fibers (also called 'silky fibers'); that can change in density

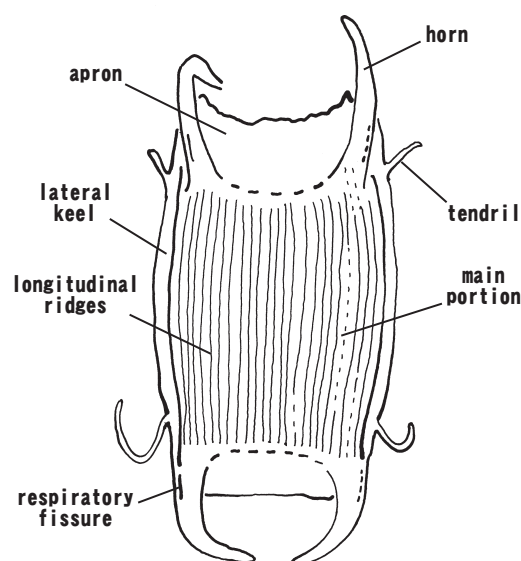


Fig. 1. General shape and structure of a skate egg capsule.

depending on the species. These fibers gradually reduce when the embryo develops and also after the egg capsule has been deposited on the seafloor. It must also be noted that the colour and surface structure of a species' egg capsule can vary between intra-oviductal capsules and capsules that have been retrieved from the seafloor or washed up on the shore.

Results

Morphological characteristics for the egg capsules of each skate species examined are shown in Table 2. Below are some general characteristics described for each genus.

1. Egg capsules of the genus *Bathyraja* (Fig. 2)

The length of the main portion is about twice its width (long rectangular shape). There are two types of egg capsules in this genus, type B-I (Fig. 2-A) and B-II (Fig. 2-B). In the former type, the surface is rough with well-developed longitudinal ridges and a poorly developed lateral keel. In the latter, the surface is smooth with poorly developed longitudinal ridges and a well developed lateral keel. The base of the horns is tough and depressed in cross section; the posterior horns are longer than the anterior horns, the tips of the anterior and posterior horns are curved and fiber-like respectively. Respiratory fissures are located at the mid-length of the horns. Egg capsules of the majority of the *Bathyraja* species belong to the type B-I, but those of five species; *B. interrupta* (Gill & Townsend, 1897), *B. parmifera* (Bean, 1881), *B. smirnovi* (Soldatov & Lindberg, 1915), *B. trachura* (Gilbert, 1892) and *B. violacea* (Suvorov, 1935) belong to type B-II.

2. Egg capsules of the genus *Brochiraja* (Fig. 3)

The length of the main portion is twice as long as its width (long rectangular shape); its surface is smooth. The posterior horns are long, their length two times the width of the main portion. Cross section of the horns is circular; respiratory fissures are located at mid-length of the horns.

3. Egg capsules of the genus *Notoraja*

The length of the main portion is twice as long as its width (long rectangular shape); its surface is smooth. The posterior horns are long, their length three times the width of the main portion. Cross section of the horns is circular; respiratory fissures are located at mid-length of the horns.

4. Egg capsules of the genus *Psammobatis* (Fig. 4)

The length of the main portion is twice as long as its width (long rectangular shape); its surface is smooth. The posterior horns are fiber-like and long, 1.5 times as long as the width of the main portion; the anterior horns are relatively short; cross section of the horns is circular. Respiratory fissures are present near the tip of the anterior horns and at the base of the posterior horns.

5. Egg capsules of the genus *Rhinoraja* (Fig. 5)

In over-all appearance, the egg capsules of the genus *Rhinoraja* show close similarity to the type B-I of the genus *Bathyraja*; the surface is rough.

6. Egg capsules of the genus *Atlantoraja* (Fig. 6)

The length of the main portion is less than twice as long as its width (rectangular shape); its surface is smooth. The posterior horns are 1.5 times the width of the main portion. Cross section

Table 2. Comparison of egg capsules of 20 groups in the present study. A "+" in the keel column signifies keel present and a "-" signifies keel absent. When the horn is longer than main portion, it is long; if the horn is the same length of main portion, it is moderate; if horn is shorter than main portion, it is short. In the type 2 of *Dipturus* and type 2 of Genus A, apron obscures the horns; the horn shape is listed as "obscure".

Family	Genus	Condition of surface	Shape of horns	Length of post. Horns	Keel	Position of resp. fissures	Types
Arhynchobatidae	<i>Bathyraja</i> type 1	rough	depressed	moderate	-	middle	B-I
	<i>Bathyraja</i> type 2	smooth	depressed	moderate	+	middle	B-II
	<i>Notoraja</i>	smooth	circular	long	-	tip; middle	B-II
	<i>Brochiraja</i>	smooth	circular	long	-	tip; middle	B-II
	<i>Psammobatis</i>	smooth	circular	long	-	near tip; base	B-II
	<i>Rhinoraja</i>	rough	depressed	moderate	-	middle	B-I
	<i>Atlantoraja</i>	smooth	circular	long	+	tip; middle	B-II
	<i>Sympterygia</i>	rough	depressed	short	-	middle	B-I
Anacanthobatidae	<i>Anacanthobatis</i>	smooth	circular	long	-	tip; middle	B-II
	<i>Cruiraja</i>	smooth	circular	long	-	tip; base	B-II
Rajidae	<i>Amblyraja</i>	smooth; rough	circular	moderate	+	near tip; base	A-I
	<i>Dipturus</i> type 1	smooth	circular	moderate	-	tip	D-I
	<i>Dipturus</i> type 2	smooth	obscure	short	+	tip	D-II
	Genus A type 1	smooth	circular	moderate	-	tip	D-I
	Genus A type 2	smooth	obscure	short	+	tip	D-III
	Genus B	smooth	circular	moderate	-	tip	D-I
	<i>Fenestraja</i>	smooth	circular	long	-	tip; base	B-II
	<i>Leucoraja</i>	smooth	circular	long	-	tip; middle	D-I
	<i>Malacoraja</i>	smooth	circular	short	+	tip; near tip	D-I
	<i>Okamejei</i>	smooth	circular	moderate	-	tip	D-I
	<i>Raja</i>	smooth	circular	moderate	-	tip	D-I
	<i>Rajella</i>	smooth	circular	long	-	tip; middle	D-I
	<i>Raja leopardus</i>	smooth	depressed	short	+	middle	D-I
	<i>Rostroraja</i>	rough	depressed	long	+	base	R-I

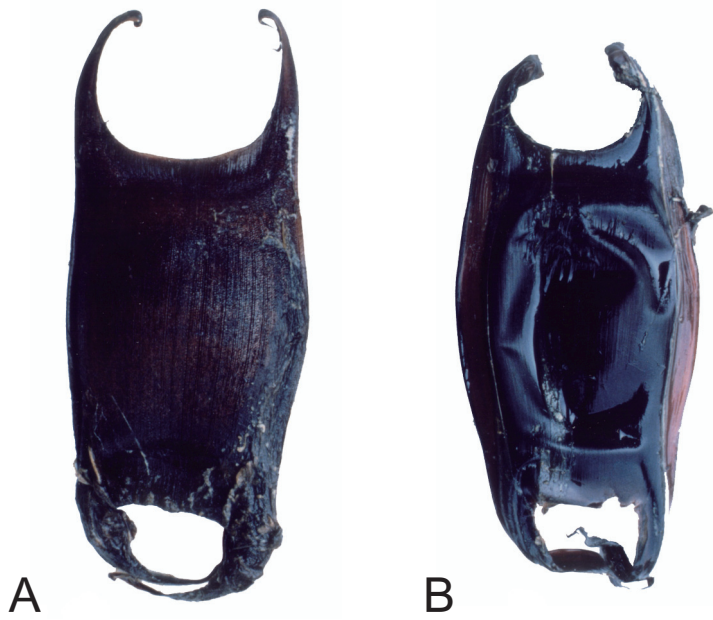


Fig. 2. Egg capsules of the genus *Bathyraja*. A: type B-I, *B. aleutica*, MTUF 26070, 126.0 × 89.0 mm; B: type B-II, *B. smirnovi*, MTUF 26167, 124.0 × 87.4 mm.



Fig. 3. Egg capsule of *Brochiraja asperula*, NSMT P42505, 37.3 × 22.0 mm.

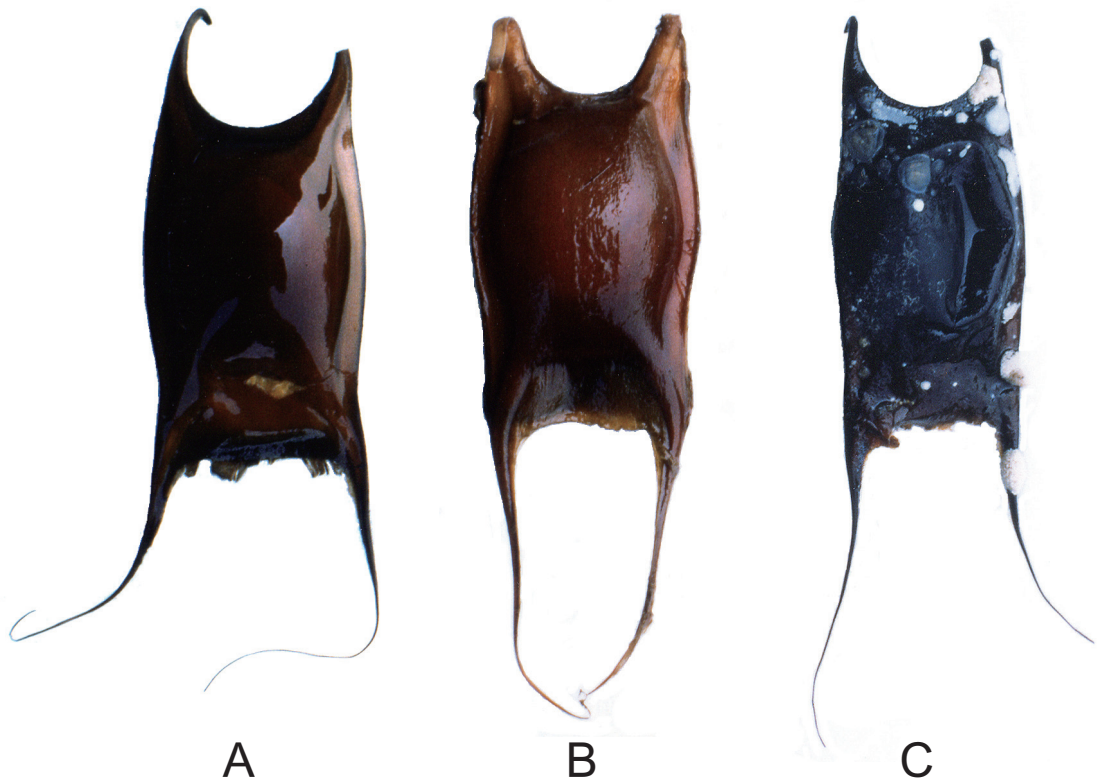


Fig. 4. Egg capsules of the genus *Psammobatis*. A: *P. rudis*, ISH 499-178, 56.9 × 34.1 mm; B: *P. rutrum*, ISH 81-171, 52.2 × 35.4 mm; C: *P. scobina*, LACM 10438-4, 52.0 × 31.4 mm.

of the horns is circular; respiratory fissures are present near the tip of the anterior horns and at the mid-length of the posterior horns.

7. Egg capsules of the genus *Sympterygia* (Fig. 7)

The length of the main portion is more than two times as long as its width (long rectangular shape). The anterior and posterior

horns are almost equal in length. The surface is rough, similar to the type B-I of the genus *Bathyraja*.

8. Egg capsules of the genus *Anacanthobatis* (Fig. 8)

The length of the main portion is more than two times as long as its width (long rectangular shape); its surface is smooth.



Fig. 5. Egg capsules of the genus *Rhinoraja*. A: *R. kujiensis*, MTUF 26171, 110.8 × 71.8 mm ; B: *R. longicauda*, MTUF 26172, 85.0 × 48.0 mm; C: *R. odai*, MTUF 26173, 56.8 × 31.5 mm.



Fig. 6. Egg capsule of *Atlantoraja castelnaui*, ISH 439-178, 103.0 × 80.0 mm.

Fig. 7. Egg capsule of *Sympterygia bonapartei*, LACM 10438-3, 81.0 × 31.4 mm.

Fig. 8. Egg capsule of *Anacanthobatis ori*, MTUF P30568, 36.0 × 19.0 mm.

The posterior horns are long, about twice the width of the main portion. Cross section of the horns is circular; respiratory fissures are present at the tip of the anterior horns and at the mid-length of the posterior horns; the posterior aprons are well developed.

9. Egg capsules of the genus *Cruriraja* (Fig. 9)

The length of the main portion is more than twice as long as its width (long rectangular shape); its surface is smooth, with poorly developed longitudinal ridges. The posterior horns are long, about two times the width of the main portion; cross section of the horns is circular.

10. Egg capsules of the genus *Amblyraja* (Fig. 10)

The length of the main portion is variable, being less than twice as long as its width (rectangular shape) in *A. radiata* (Donovan, 1808), but it is more than twice as long as its width (long rectangular) in *A. doellojuradoi* (Pozzi, 1935); its surface is rough or smooth. The posterior horns are longer than the anterior horns, but less than 1.5 times the width of main portion; cross section of the horns is circular. Respiratory fissures are present at the tip of the anterior horns and at the base of the posterior horns. The lateral keels are wide, thin and translucent. The morphology of the ten *Amblyraja* species is regarded as conservative with small variation, which is also true of the morphology of the egg capsules of this genus. The egg capsules of the genus are defined as type A-I.

11. Egg capsules of the genus *Dipturus* (Fig. 11)

There are two types of egg capsules in this genus, types D-I and D-II. The type D-I shows close resemblance to the egg capsules from other genera of the family Rajidae. Those of *D. kwangtungensis* (Chu, 1960), *D. macrocaudus* (Ishiyama, 1955) and *D. tengu* (Jordan & Fowler, 1903) belong to the type D-I (Fig.



Fig. 9. Egg capsule of *Cruriraja parcomaculata*, RUSIA3428, 45.0 × 24.4 mm.



Fig. 10. Egg capsules of the genus *Amblyraja*. A: *A. georgiana*, ISH 315-176, 116.5 × 80.0 mm; B: *A. radiata*, MTUF 26692, 79.7 × 63.4 mm; C: *A. doellojuradoi*, ISH 112-171, 86.4 × 56.2 mm.

11-A). In the type D-II, the aprons and keels are well developed and united with the main portion, the overall appearance is rectangular. Those of *D. batis* (Linnaeus, 1758), *D. gigas* (Ishiyama, 1958) and *D. nasutus* (Müller & Henle, 1841) belong to the type D-II (Fig. 11-B). In both types, the surface is smooth and respiratory fissures are present at the tips of the horns.

12. Egg capsules of the genus A (Fig. 12)

There are two types of egg capsules in the genus A. First, the egg capsule of *Raja rhina* Jordan & Gilbert, 1880 resembles the egg capsules of other genera from the family Rajidae, specifically type D-I of the genus *Dipturus* (Fig. 12-A). Second, the egg capsules of *Raja binoculata* Girard, 1855 (Fig. 12-B) and *R. pulchra* Liu, 1932 (Fig. 12-C) are more specialised; the lateral keels are concave at the mid-length and contain more than one embryo. These egg capsules belong to the type D-III.

13. Egg capsules of the genus B (Fig. 13)

In overall appearance, the egg capsules of the genus B show resemblance to the type D-I of the genus *Dipturus*; the surface is smooth. The lengths of the anterior and posterior horns are the same; cross section of the horns is circular; respiratory fissures are present at the tips of the horns.

14. Egg capsules of the genus *Fenestraja* (Fig. 14)

The length of the main portion is more than twice as long as its width (long rectangular shape); its surface is smooth. The posterior horns are long, more than twice as long as the width of the main portion. Cross section of the horns is circular. Respiratory fissures are present at the tip of the anterior horns and at the base of the posterior horns.

Although the genus belongs to the family Rajidae in the systematics of the order by Compagno (1999, 2005) and Ebert

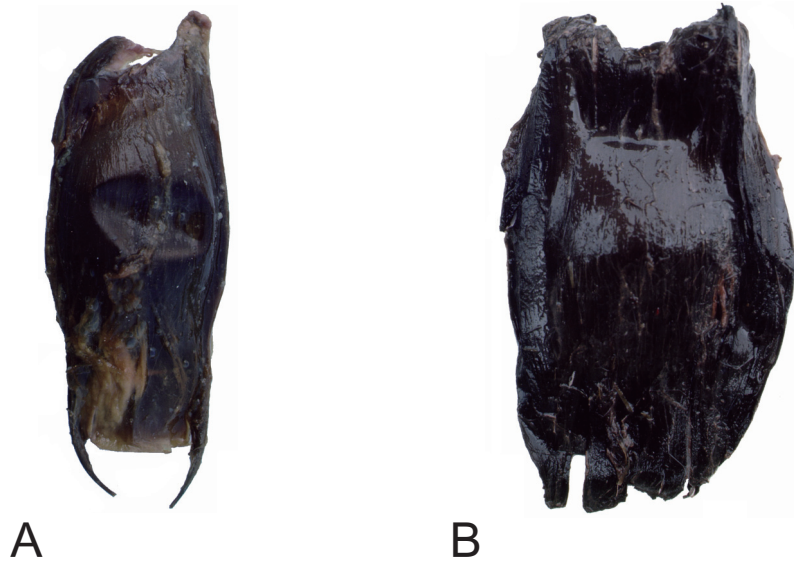


Fig. 11. Egg capsules of the genus *Dipturus*. A: type D-I: *D. macrocauda*, MTUF 26177, 130.0 × 60.0 mm; B: type D-II: *D. gigas*, MTUF 26175, 220.0 × 140.0 mm.

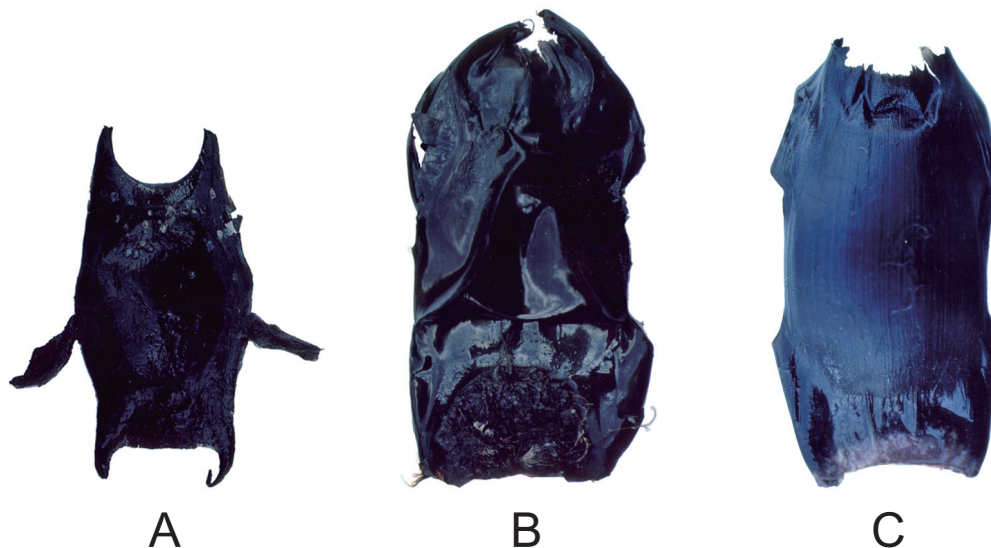


Fig. 12. Egg capsules of the genus A. A: type D-I: *Raja rhina*, RBCM 986-61, 103.0 × 69.4 mm; B and C: type D-III: *R. binoculata*, RBCM 986-60, 228.0 × 194.5 mm and *R. pulchra*, MTUF 26681, 145.0 × 70.0 mm.

& Compagno (2007), the genus should be shifted to the family Arhynchobatidae based on the morphology of the egg capsules, which shows resemblance to the egg capsules of the type II of the genus *Bathyraja*.

15. Egg capsules of the genus *Leucoraja* (Fig. 15)

In overall appearance, the egg capsules of the genus *Leucoraja* show resemblance to the type D-I of the genus *Dipturus*. The surface is smooth; the posterior horns are long, 1.5 times to two times as long as the width of the main portion; cross section of the horns is circular. Respiratory fissures are present at the tips of



Fig. 13. Egg capsules of the genus B. *Raja eglanteria*, MTUF 26689, 71.0 × 43.0 mm.



Fig. 14. Egg capsule of *Fenestraja* sp., TCWC 2196-1, 44.0 × 25.8 mm.

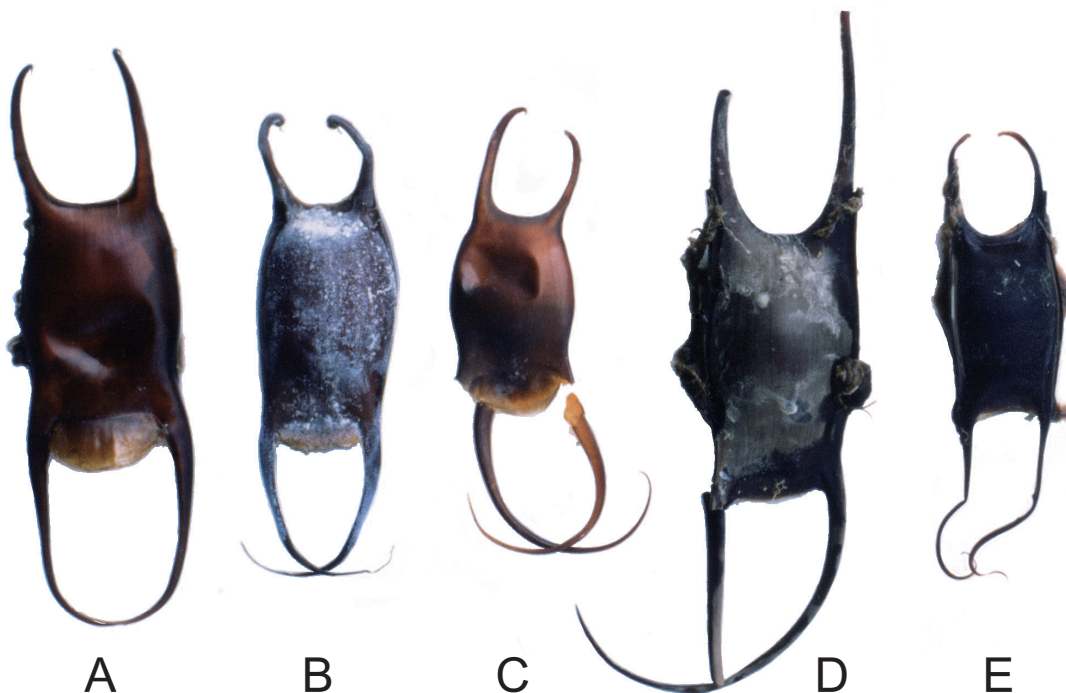


Fig. 15. Egg capsules of the genus *Leucoraja*. A: *L. fullonica*, MTUF 26693, 82.0 × 48.0 mm; B: *L. wallacei*, RUSIA4802, 73.0 × 42.0 mm; C: *L. naevus*, MTUF 26694, 61.0 × 34.0 mm; D: *L. ocellata*, VIMS 01358, 78.0 × 48.0 mm; E: *L. erinacea*, VIMS 01340, 53.0 × 36.0 mm.

the anterior horns and at the mid-length of the posterior horns.

16. Egg capsules of the genus *Malacoraja* (Fig. 16)

In overall appearance, the egg capsules of the genus *Malacoraja* show resemblance to the type D-I of the genus *Dipturus*. The surface is smooth; the horns are short; cross section of the horns is circular. Respiratory fissures are present at the tips of both anterior and posterior horns.

Compagno (1999, 2005) and Ebert & Compagno (2007) moved *Malacoraja fuliginea* (Bigelow & Schroeder, 1954) to the genus *Rajella*. However, based on the morphology of the egg capsules of the species, the species should be left in the genus *Malacoraja*.

17. Egg capsules of the genus *Okamejei* (Fig. 17)

In overall appearance, the egg capsules of the genus *Okamejei* show resemblance to the type D-I of the genus *Dipturus*. The surface is smooth. The lengths of the anterior and posterior horns are the same. Cross section of the horns is circular. Respiratory fissures are present at the tip of each horn. In the egg capsule of *O. kenojei* (Müller & Henle, 1841), tendrils are present on the keel.

18. Egg capsules of the genus *Raja* (Fig. 18)

In overall appearance, the egg capsules of the genus *Raja* show resemblance to the type D-I of the genus *Dipturus*. The surface is smooth; the lengths of the anterior and posterior horns are the same. Cross section of the horns is circular; respiratory fissures are present at the tip of each horn. Tendrils can be present on the keel in some species. The egg capsule of *Raja clavata* Linnaeus, 1758 shows close resemblance to the egg capsules of the genus *Malacoraja*, in which aprons and keels are well developed (Fig. 19).

19. Egg capsules of the genus *Rajella* (Fig. 20)

In overall appearance, the egg capsules of the genus *Rajella*

show resemblance to the type D-I of the genus *Dipturus*. The surface is smooth; the lengths of the anterior and posterior horns are the same. Cross section of the horns is circular; respiratory fissures are present at the tip of the anterior horns and located at the mid-length of the posterior horns.

The egg capsule of *Rajella leopardus* (von Bonde & Swart, 1923) differs not only from the egg capsules of the genus *Rajella*, but also from other genera of the family Rajidae (Fig. 20-A). Lateral keels are well developed with serrated edges; the horns are short and tough; respiratory fissures are present at the mid-length of the horns.

20. Egg capsules of the genus *Rostroraja* (Fig. 21)

The main portion is wide, its length less than 1.5 times its width;



Fig. 16. Egg capsules of *Malacoraja senta*, VIMS 01333, 55.0 × 41.9 mm.



Fig. 17. Egg capsules of the genus *Okamejei*. A: *O. acutispina*, MTUF 26683, 49.4 × 26.3 mm; B: *O. schmidtii*, MTUF 26687, 56.0 × 30.3 mm; C: *O. kenojei*, MTUF 26685, 47.8 × 29.1 mm; D: *O. boesemani*, MTUF 26684, 60.6 × 36.7 mm.

its surface is rough with longitudinal ridges. The horns are tape-like, cross section is depressed; the posterior horns are long, 1.5 times as long as width of main portion. Respiratory fissures are present at the base of each horn; lateral keels are well developed. The egg capsule from this genus is defined as type R-I.

Discussion

In the present study the phylogenetic relationships of skates are determined using the two fundamental steps developed by Hennig (1966). The first step is to determine the basic groups (lineages) of skates based on distributional patterns of skates. The second is to constitute a relationship of and within each

group based on the polarity of the morphology of egg capsule.

World distribution patterns of skates

In the order Rajiformes, more ancient groups such as *Bathyrāja* and *Dipturus* are considered to be confined to deep waters and have a worldwide distribution (Hulley, 1972, Stehmann, 1986). Moreover, many *Bathyrāja* and *Dipturus* species have a wide depth range from shelf to slope below the depth of 200 m. The distribution pattern of the 30 supraspecific taxa is shown in Table 3. It is evident from this table, that the genus *Amblyrāja* also shows a worldwide distribution with the majority of species found in deepwater. Therefore, these three genera (lineages) *Amblyrāja*, *Bathyrāja* and *Dipturus* should be

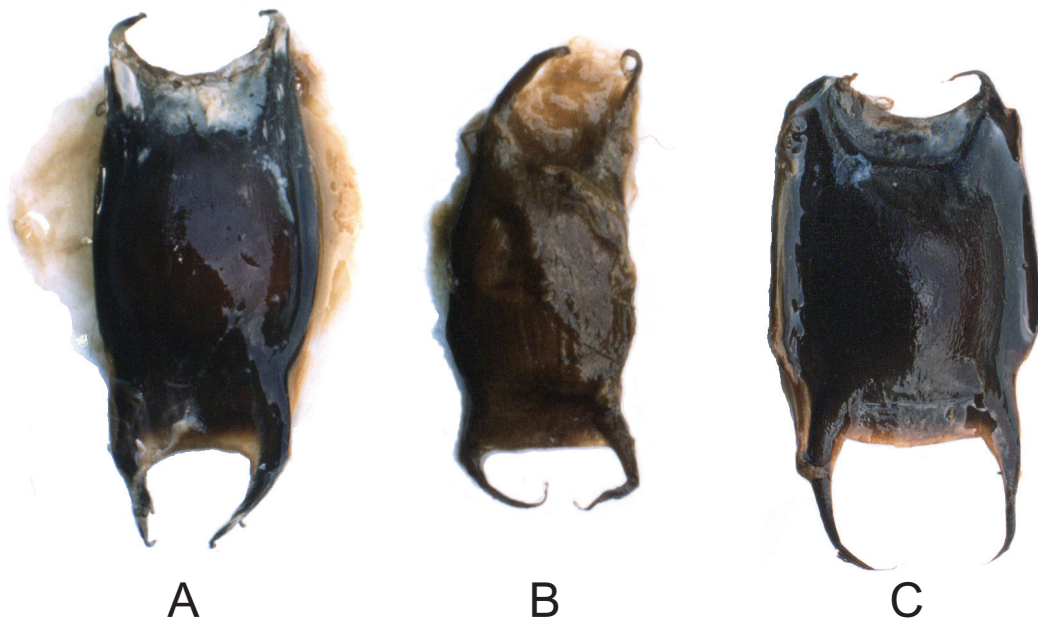


Fig. 18. Egg capsules of the genus *Raja*. A: *R. montagui*, MTUF 26691, 71.0 × 43.0 mm; B: *R. miraletus*, RUSI A4786, 45.5 × 29.0 mm, C: *R. clavata*, MTUF 26686, 83.0 × 68.6 mm.



Fig. 19. Comparison between egg capsules of *R. clavata* (A), MTUF 26686 and *M. senta* (B), VIMS 01333.



A



B

Fig. 20. Egg capsules of the genus *Rajella*. A: *R. leopardus*, MTUF 26695, 74.0 × 74.5 mm; B: *R. bigelowi*, TCWC 2720-1, 53.0 × 29.9 mm.



Fig. 21. Egg capsules of *Rostroraja alba*, MTUF 30567, 141.0 × 120.4 mm.

Table 3. Distributional patterns of the 30 genera of skates around the world.

Family	Genus	Atlantic Ocean					Pacific Ocean					Indian Ocean		Polar Oceans	
		E.N. Atlantic	E.S. Atlantic	W.N. Atlantic	W.S. Atlantic	Argentina	Chile	E.S. Pacific	Australia & New Zealand	E.N. Pacific	W.N. Pacific	Indian Ocean	South Africa	Arctic Ocean	Antarctic Ocean
Arhynchobatidae	<i>Arhynchobatis</i>								●						
	<i>Bathyraja</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	<i>Irolita</i>								●						
	<i>Notoraja</i>										●	●			
	<i>Brochiraja</i>								●						
	<i>Pavoraja</i>								●						
	<i>Psammobatis</i>				●	●	●								
	<i>Pseudoraja</i>			●											
	<i>Rhinoraja</i>										●				
	<i>Rioraja</i>				●	●									
	<i>Atlantoraja</i>				●	●									
	<i>Sympterygia</i>				●	●	●								
Anacanthobatidae	<i>Anacanthobatis</i>			●							●	●	●		
	<i>Cruriraja</i>			●	●								●		
Rajidae	<i>Amblyraja</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	<i>Breviraja</i>			●	●										
	<i>Dactylobatus</i>			●											
	<i>Dipturus and Zearaja</i>	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	
	<i>Fenestraraja</i>			●				●							
	<i>Gurgesiella</i>				●	●	●	●							
	<i>Leucoraja</i>	●	●	●					●				●		
	<i>Malacoraja</i>	●	●	●	●								●		
	<i>Neoraja</i>	●	●	●									●		
	<i>Okamejei</i>								●		●	●	●		
	<i>Raja</i>	●	●	●								●	●		
	<i>Rajella</i>	●	●	●	●				●			●	●		
	<i>Rostroraja</i>	●	●									●	●		
	Genus A									●	●				
	Genus B			●						●					
	Genus C								●						

considered as three basic groups. The egg capsules of these three genera are thus considered to be three basic types.

The species of these three genera are distributed in waters deeper than 200 m and are adapted to the cold waters of high latitudes. The genera *Amblyraja* and *Bathyrāja* are also found in both Arctic and Antarctic seas (Stehmann 1986; Templeman 1982).

Commonality principle adopted for morphology of egg capsules to determine polarity

According to the distributional patterns of the skates in the world, the genera *Amblyraja*, *Bathyrāja* and *Dipturus* might be considered as three basic groups; skate genera can therefore be grouped based on the egg capsule morphology of these three genera. Furthermore, the egg capsule characteristics within each group can be considered more basic or primitive based on the commonality principle (see Table 2).

Grouping of skates based on the morphology of egg capsules

As shown in the previous paragraphs, the morphology of skate egg capsules might have derived from three basic generic types; *Bathyrāja* type (B-I and B-II), *Amblyraja* type (A-I), and *Dipturus* type (D-I, D-II and D-III). Additionally, the genus *Rostroraja* type (R-I) in the *Dipturus* type is considered to be an independent type since its egg capsules possess unique characters, i.e., rough surface, long and depressed horns, developed lateral keels and basic location of respiratory fissures. Thus, based on egg capsule morphology, these four genera are considered to be basic types in the order Rajiformes.

Trend of evolution

Evolutionary trends might be present in the following ways (see tables 2 and 4).

Surface: from rough to smooth

Posterior horns: from short to long, with their cross section from depressed to circular

Aprons and lateral keels: from poorly developed to well developed

Location of respiratory fissures: from base to tip

Interrelationships of skates based on the egg capsules

The interrelationships of skates based on the morphology of their egg capsules are shown in Figure 22.

1. A-I type (the genus *Amblyraja*)

The egg capsules of the genus *Amblyraja* show the following characteristics. Lateral keels are thin and well developed; length of horns is moderate (the same length as the main portion). Therefore, the genus *Amblyraja* might be in one independent lineage.

2. R-I type (the genus *Rostroraja*)

The egg capsules of the genus *Rostroraja* show the following characteristics. Surface rough; horns tape like, posterior horns extremely long; respiratory fissure present at the base of horns; lateral keel well developed. Therefore, the genus *Rostroraja* might be in one independent lineage parallel to the genera *Amblyraja*, *Bathyrāja* and *Dipturus*.

3. B-I and B-II types (the genus *Bathyrāja* and other related genera)

The egg capsules of the majority of *Bathyrāja* species, the

genus *Rhinoraja* and the genus *Sympterygia* show the following characteristics. Surface rough; length of horns moderate (the same length as the main portion); respiratory fissures present at the mid-length of horns. Therefore, the genera *Bathyrāja*, *Rhinoraja* and *Sympterygia* might be one independent lineage with the egg capsules of B-I type. The genera *Atlantoraja* and *Psammobatis*, which possess egg capsules of B-II type, might have derived from a group in *Bathyrāja*. Furthermore, the egg capsules of the genera *Anacanthobatis*, *Atlantoraja*, *Cruriraja*, *Fenestraja*, *Brochiraja* and *Notoraja* might have derived from the egg capsules of B-II type.

The genus *Fenestraja* should be placed in the family Arhynchobatidae rather than the family Rajidae, because the genus possesses egg capsules of the B-II type. The family Anacanthobatidae, consisting of the genera *Anacanthobatis* and *Cruriraja*, might be more closely related to the family Arhynchobatidae than to the family Rajidae.

4. D-I, D-II and D-III types (the genus *Dipturus* and other related genera)

The egg capsules of the majority of *Dipturus* species show the following characteristics. Surface smooth; length of horns moderate (the same length as the main portion); respiratory fissures present at the tip of horns. Therefore, the genera *Dipturus*, *Leucoraja*, *Malacoraja*, *Raja*, *Rajella*, *Okamejei*, part of genus A and genus B might be one independent lineage.

The egg capsules of D-II type might have derived from the egg capsules of D-I type, in which lateral keels and aprons are well developed to form an almost rectangular egg capsule (Fig. 23). In parallel the egg capsules of the type D-III were derived from the type D-I, containing more than one embryo (Fig. 23). Egg capsules of the D-III type are not only unique among the family Rajidae, but among the order Rajiformes. Therefore, a new genus should be proposed for *Raja binoculata* and *R. pulchra*.

The egg capsules of the genus *Malacoraja* show similarity to the egg capsules of the D-I type, except for well developed keels. Therefore, the egg capsules of the genus *Malacoraja* might have derived from the egg capsules of the type D-I.

The egg capsules of the genera *Rajella* and *Leucoraja* show similarity to the egg capsules of the D-I type by having a smooth surface and circular cross section of the horns. Those egg capsules might have derived from the egg capsules of the D-I type.

The egg capsule of *Rajella leopardus* shows unique characteristics of serrated edges of keels and short horns. Perhaps it might be better to establish a separate genus for this species.

Table 4. Evolutionary trends in skate egg capsules.

Characters	Primitive	Advanced
Surface	rough	smooth
Posterior horns	short	long
Shape of horn section	depressed	circular
Lateral keel	absent	developed
Apron	absent	developed
Respiratory fissure	base of horns	tip of horns

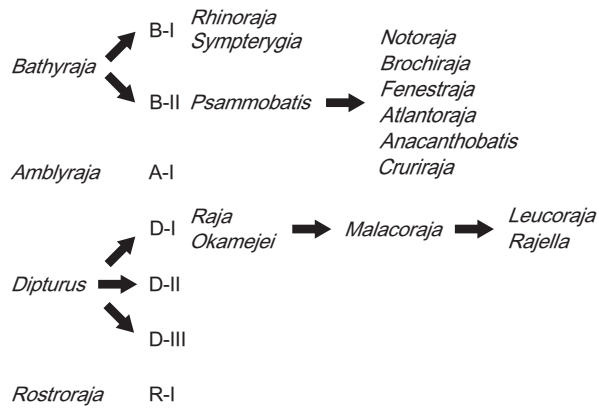


Fig. 22. The interrelationships of skates based on the morphology of the egg capsule.

**Systematics of skates based on their egg capsules,
modified from Compagno (1999, 2005)
and Ebert & Compagno (2007)**

The systematics of skates is proposed here according to the present results for 20 genera; the present systematics do not considerably affect those presented in the former studies.

Order Rajiformes

Family Arhynchobatidae

Genus *Bathyrāja*

Genus *Brochiraja*

Genus *Notoraja*

Genus *Fenestṛaja*

Genus *Psammobatis*

Genus *Rhinoṛaja*

Genus *Atlantoraja*

Genus *Sympterygia*

Family Anacanthobatidae

Genus *Anacanthobatis*

Genus *Cruriraja*

Family Rajidae

Subfamily Amblyrajinae

Genus *Amblyṛaja*

Subfamily Rostrorajinae

Genus *Rostroraja*

Subfamily Rajinae

Genus *Dipturus*

Genus *Leucoraja*

Genus *Malacoraja*

Genus *Okamejei*

Genus *Raja*

Genus *Rajella*

Genus *Beringṛaja* gen. nov.

Genus A

Genus B

Establishment of a new genus *Beringṛaja*

According to the common unique characters found in the egg capsules of *Raja bonoculata* Girard and *Raja pulchra* Liu (Hitz,

1964; unpublished data, Ishihara) in addition to unique shared clasper characters as spoon-shaped distal tip of accessory terminal 1 (Ishiyama, 1967), we propose a new genus *Beringṛaja* for the two species.

***Beringṛaja* gen. nov. Ishihara, Treloar, Bor,**

Senou & Jeong

Type species: *Raja binoculata* Girard, 1855

Other species in the genus: *Beringṛaja pulchra* (Liu, 1932)

Diagnosis. Egg-capsule keels are well developed, with middle part concave. Egg capsule with more than one embryo. Distal tip of the accessory terminal 1 clasper cartilage is spoon shaped, so the clasper component sentinel is widely expanded.

Remarks. The number of embryos in the egg capsule is according to Hitz (1964) for *B. binoculata* and to unpublished data by Ishihara for *B. pulchra*.

Morphology of accessory terminal 1 clasper cartilage according to clasper specimen, KPM-NI 29469 for *B. binoculata* and to Ishiyama (1967: page 35, Figure 7, E, F, H) for *B. pulchra*.

Etymology. The origin of the two species of the genus is thought to be in the Bering Sea since the two species are distributed allopatrically on both sides of the Bering Sea. Therefore, the prefix “*Bering*” is added to the scientific name “*ṛaja*”.

Acknowledgments

Sincere thanks go to the following people for the loan or gift of the specimens:

Professor Emeritus the late Osame Okamura and Professor Yoshihiko Machida (BSKU), Dr. M. Eric Anderson (RUSI),

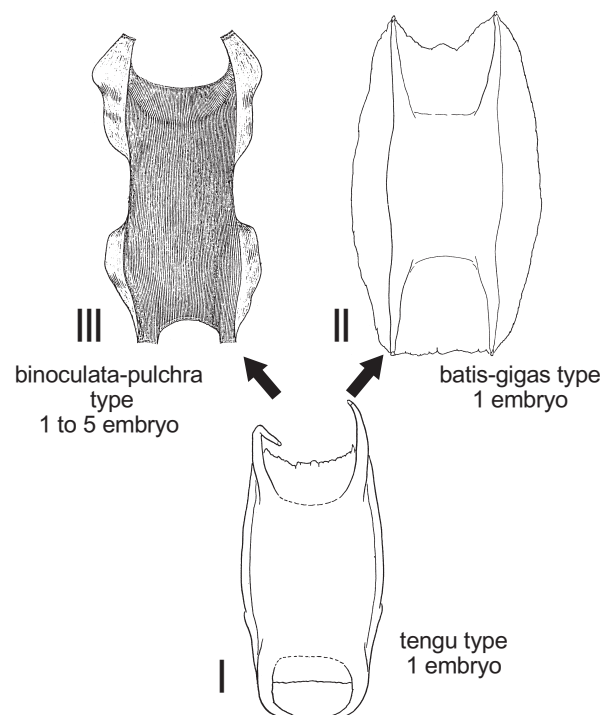


Fig. 23. Possible evolutionary trends in the three types of egg capsules of the family Rajidae, genera *Dipturus* and genus A.

Drs. Bill Eschmeyer and Tomio Iwamoto (CAS), Dr. Matthias Stehmann (formerly of the ISH), Drs. Jefferey Siegel and Robert J. Lavenberg (LACM), the late Mr. Osamu Asakawa (MTUF), Dr. Jack E. Peden (formerly of the RBCM), Dr. John D. McEachran (Texas A&M University), Dr. Jack A. Musick (VIMS), Dr. Leonardo J.V. Compagno (South African Museum), Dr. Bernard Séret (National Museum of Natural History, Paris), Dr. Marie-Henriette DuBuit (Marine Research Institute, Concarneau), Dr. Douglass F. Hoesé (Australian Museum), Dr. Graham S. Hardy (Whangarei, New Zealand). The late Dr. Reizo Ishiyama, Professor Emeritus of the Tokyo University of Fisheries, encouraged us during the course of this study.

A special thanks to Justin Hulls for etching the photographs and to Gordon Yearsley (Hobart, Tasmania) for commenting on the manuscript.

Literature Cited

- Andriashev, A. P., 1954. Fishes of the northern seas of the U.S.S.R. 617pp. Izdacherstvo Akademii Nauk Soyuz Sovetskikh Sotsialisticheskoy Respubliki, Moskva.
- Bigelow, H. B. & W. C. Schroeder, 1953. Fishes of the western North Atlantic. Part I. Sawfishes, guitarfishes, skates and rays. Part II. Chimaeroids. xv+588pp. Memoirs of the Sears Foundation of Marine Research, Yale University, New Haven, No. 1, Pt. 2.
- Boeseman, M., 1967. Some remarks on *Raja nidarosiensis* Storm, including the first record of an egg-capsule from British waters. *Proceedings, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, Series C*, **70**(4): 454-465.
- Bor, P. H. F., 1998. Eikapsels van haaien en roggen. *Wetenschappen Mededelingen Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging*, (223): 48.
- Breder, C. M., Jr. & J. W. Atz, 1938. Further notes on the eggs of *Raja eglanteria* Bosc. *Copeia*, **1938** (3): 145-146.
- Breder, C. M., Jr. & J. T. Nichols, 1937. The eggs of *Raja eglanteria* Bosc, with a key to the shells of New York species. *Copeia*, **1937** (3): 181-184.
- Clark, R. S., 1919-1922. Rays and skates (Raiaae). No. I. -Egg-capsules and young. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **12** (new series): 577-643.
- Clark, R. S., 1926. Rays and skates. A revision of the European species. 66pp., 36pls. Fisheries Board of Scotland Scientific Investigator (1).
- Clark, R. S., 1929-1932. Raiidae. In Joubin, L. (ed.), Faune Ichthyologique de l'Atlantique nord, publiée sous la direction de M. le professeur Joubin (1929-1938). Volumes 3, 4, 5, 7, 8, 9. En commission chez A. F. Høst et fils, Copenhagen.
- Compagno, L. J. V., 1999. Checklist of living elasmobranchs. In Hamlett, W.C. (ed.), Sharks, skates and rays: the biology of elasmobranch fishes, pp.471-498. Science Publishers Incorporated, Enfield.
- Compagno, L. J. V., 2005. Checklist of living Chondrichthyes. In Hamlett, W.C. (ed.), Reproductive biology and phylogeny of Chondrichthyes: Sharks, batoids and chimaeras. pp.503-548. Science Publishers Incorporated, Enfield.
- Cox, K. W., 1963. Egg-cases of some elasmobranchs and a cyclostome from Californian waters. *California Fish and Game*, **49**(4): 271-289.
- Dean, B., 1904. Evolution in a determinate line as illustrated by the egg-cases of chimaeroid fishes. *Biological Bulletin*, **7**: 105-112.
- Dean, B., 1906. Chimaeroid fishes and their development. 172pp., 11pls. Carnegie Institution of Washington Publisher (32).
- Dean, B., 1912. Onthogenesis in the egg-capsules of *Chimaera*. *Bulletin of American Museum of Natural History*, **31**(3): 35-40.
- DeLacy, A. C. & W. M. Chapman, 1935. Notes on some elasmobranchs of Puget Sound. *Copeia*, **1935** (2): 63-67.
- Dollo, L., 1904. Résultats du voyage du S. Y. Belgica en 1897-1898-1899 sous le commandement de A. de Gerlache de Gomery. Rapports scientifiques publiés aux frais du gouvernement Belge, sous la direction de la Commission de la Belgica. Zoologie. Poissons. 239pp.+[i], 12pls. J.E. Buschmann, Anvers.
- Ebert, D. A., 2005. Reproductive biology of skates, *Bathyraja* (Ishiyama), along the eastern Bering Sea continental shelf. *Journal of Fisheries Biology*, **66**: 618-649.
- Ebert, D. A. & L. J. V. Compagno, 2007. Biodiversity and systematics of skates (Chondrichthyes: Rajiformes: Rajoidei). *Environmental Biology of Fishes*, **80**: 111-124.
- Ebert, D. A. & C. D. Davis, 2007. Descriptions of skate egg cases (Chondrichthyes: Rajiformes: Rajoidei) from the eastern North Pacific. *Zootaxa*, (1393): 1-18.
- Follett, W. L., 1952. Annotated list of fishes collected by the California Academy of Sciences during six cruises of the U. S. S. Mulberry conducted by the United States Navy off central California in 1949 and 1950. *Proceedings of the California Academy of Sciences, Series 4*, **27**(16): 399-432.
- Garman, S., 1899. Reports on an exploration off the west coasts of Mexico, Central and South America, and off the Galapagos Islands, in charge of Alexander Agassiz, by the U.S. Fish Commission steamer "Albatross" during 1891, Lieut.-Commander Z.L. Tanner, U.S.N., commanding. XXVI. The fishes. *Memoirs of Museum of Comparative Zoology, Harvard College*, **24**: 1-431, pls. 1-85, col. pls. A-N.
- Hart, J. L., 1973. Pacific fishes of Canada. 740pp. Bulletin of Fisheries Research Board of Canada, (180).
- Hennig, W., 1966. Phylogenetic systematics. 280pp. University of Illinois Press, Urbana.
- Hitz, C. R., 1964. Observations on egg cases of the big skate (*Raja binoculata* Girard) found in Oregon coastal waters. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, **21**: 851-854.
- Holt, E. W. L., 1899. The "bottle-nose ray" (?*R. alba*, Lacep.) and its egg-purse. *Journal of Marine Biological Association of United Kingdom*, **5**: 181-183.
- Hulley, P. A., 1972. The origin, interrelationships and distribution of southern African Rajidae (Chondrichthyes, Batoidei). *Annals of South African Museum*, **60**(1): 1-103.
- Ishihara, H., 1987. Revision of the western North Pacific skates of the genus *Raja*. *Japanese Journal of Ichthyology*, **34**(3): 241-285.
- Ishihara, H., 1990. Study on the systematics and fishery resources of the skates inhabiting the North Pacific. 186pp. PhD. Dissertation, University of Tokyo.
- Ishihara, H. & R. Ishiyama, 1985. Two new North Pacific skates (Rajidae) and a revised key to *Bathyraja* in the area. *Japanese Journal of Ichthyology*, **32**: 143-179.
- Ishiyama, R., 1950. Studies on the rays and skates belonging to the family Rajidae, found in Japan and adjacent regions. 1. Egg-capsules of ten species. *Japanese Journal of Ichthyology*, **1**(1): 30-36.
- Ishiyama, R., 1958. Observation of the egg-capsules of skates of the family Rajidae, found in Japan and adjacent waters. *Bulletin of Museum of Comparative Zoology, Harvard University*, **118**(1): 1-24.
- Ishiyama, R., 1967. Fauna Japonica. Rajidae (Pisces). vi+82+[ii]pp.

- Biogeographical Society of Japan, Tokyo.
- Ishiyama, R. & H. Ishihara, 1977. Five new species of skates in the genus *Bathyraja* from the western North Pacific, with reference to their interspecific relationships. *Japanese Journal of Ichthyology*, **24**(2): 71-90.
- Jensen, A. S., 1914. The selachians of Greenland. 40pp., 30pls. Mindeskrift for Japetus Steenstrup, København.
- Kreff, G., 1957. Ein Beitrag zur Kenntnis des Grönlandröschens, *Raja spinicauda* Jensen, 1914. *Archiv für Fischereiwissenschaft*, **7**(2): 139-145.
- Lamilla, J., G. Pequeño & H. Figueroa, 1984. Aspectos biológicos de *Psammobatis lima*, Poeppig, 1835, en el litoral de Valdivia, Chile (Elasmobranchii, Rajidae). *Revista de la Comisión Permanente del Pacífico Sur*, **14**: 183-209.
- Lo Bianco, S., 1909. Notizie biologiche riguardanti specialmente il periodo di maturità sessuale degli animali del golfo di Napoli. *Mitteilungen aus der Zoologischen Station zu Neapel, Berlin*, **19**: 513-761.
- McEachran, J. D., 1970. Egg capsules and reproductive biology of the skate *Raja garmani* (Pisces: Rajidae). *Copeia*, **1970** (1): 197-199.
- McEachran, J. D., 1984. Anatomical investigation of the New Zealand skates *Bathyraja asperula* and *B. spinifera*, with an evaluation of their classification within the Rajoidei (Chondrichthyes). *Copeia*, **1984** (1): 45-58.
- McEachran, J. D. & L. J. V. Compagno, 1982. Interrelationships of and within *Breviraja* based on anatomical structures (Pisces: Rajoidei). *Bulletin of Marine Science*, **32**(2): 399-425.
- McEachran, J. D. & K. A. Dunn, 1998. Phylogenetic analysis of skates, a morphologically conservative clade of elasmobranchs (Chondrichthyes: Rajidae). *Copeia*, **1998** (2): 271-290.
- McEachran, J. D. & T. Miyake, 1986. Interrelationships within a putative monophyletic groups of skates (Chondrichthyes, Rajoidei, Rajini).
- In Uyeno, T., R. Arai, T. Taniuchi and K. Matsuura, (eds.), Indo-Pacific Fish Biology, pp.281-290. Ichthyological Society of Japan, Tokyo.
- Stehmann, M., 1986. Notes on the systematics of the rajid genus *Bathyraja* and its distribution in the world oceans. In Uyeno, T., R. Arai, T. Taniuchi and K. Matsuura (eds.), Indo-Pacific Fish Biology, pp.261-268. Ichthyological Society of Japan, Tokyo.
- Stehmann, M. & N. R. Merrett, 2001. First records of advanced embryos and egg capsules of *Bathyraja* skates from the deep north-eastern Atlantic. *Journal of Fisheries Biology*, **59**: 338-349.
- Templeman, M., 1982. Development, occurrence and characteristics of egg-capsules of the thorny skate, *Raja radiata*, in the northwest Atlantic. *Journal of Northwest Atlantic Fisheries Society*, **3**: 47-56.
- Treloar, M. A., L. J. B. Laurenson & J. D. Stevens, 2006. Descriptions of rajid egg cases from southeastern Australian waters. *Zootaxa*, (1231): 53-68.
- Vladykov, V. D., 1936. Capsules d'oeufs de Raies de l'Atlantique Canadian appartenant au genre *Raja*. *National Museum of Canada Bulletin*, **63**(7): 211-231.
- Waite, E. R., 1909. Vertebrata of the subantarctic islands of New Zealand. In Chilton, C. (ed.), The subantarctic islands of New Zealand, Vol. 2, p.581. Philosophical Institute of Canterbury, Wellington.
- Wallace, J. H., 1967. The batoid fishes of the east coast of southern Africa. 3. Skates and electric rays. 62pp. Investigational Report, Oceanographic Research Institute, Durban, South Africa, (17).
- Whitley, G. P., 1938. The eggs of Australian sharks and rays. *Australian Museum Magazine*, **4**(10): 372-382.
- Williamson, H. C., 1913. On the eggs of certain skates (*Raia*). *Natural Museum of Canada Bulletin*, Part 1, 3-6.

摘 要

Ishihara, H., M. Treloar, P. H. F. Bor, H. Senou & C. H. Jeong, 2012. The comparative morphology of skate egg capsules (Chondrichthyes: Elasmobranchii: Rajiformes). *Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.)*, (41): 9-25. (石原 元・Michelle Treloar・Peter H. F. Bor・瀬能 宏・鄭 忠勲, 2012. ガンギエイ目エイ類の卵殻の比較形態学的研究. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), (41): 9-25.)

ガンギエイ目(軟骨魚綱板鰐亜綱)の目内の系統類縁関係を検討する目的で、20属64種のガンギエイ目エイ類の卵殻の形態を比較した。卵殻の形態に本目内30属の地球上の分布パターンの分析を加えて、本目内には以下の4系統の存在が推定された: 1) *Bathyraja*; 2) *Amblyraja*; 3) *Dipturus*; 4) *Rostroraja*。 *Bathyraja* を原型とする系統は、*Rhinoraja* および *Sympterygia* からなるグループ(B-I)へ特化する系統と、*Psammobatis* から、*Notoraja*、*Brochiraja*、*Fenestraja*、*Atlantoraja*、*Anacanthobatis* および *Cruriraja* の6群からなるグループへと特化する系統(B-II)に2分される。*Dipturus* を原型とする系統は3分岐(D-I、D-IIおよびD-III)し、そのうちの1系統(D-I)は *Raja* および *Okamejei* からなるグループから、*Malacoraja* を経て *Leucoraja* および *Rajella* からなるグループへと特化する。卵殻の形態から推定された系統を考慮して既存の分類体系を再構築した結果、ガンギエイ目は *Arhynchobatidae* (*Bathyraja* や *Notoraja* など8属)、*Anacanthobatidae* (*Anacanthobatis* および *Cruriraja* の2属) および *Rajidae* (*Amblyrajinae* の *Amblyraja*、*Rostrorajinae* の *Rostroraja*、*Rajinae* の *Dipturus* など3亜科11属)の3科3亜科21属に分類するのが妥当であると判断された。*Rajinae* に含まれる属には、新属 *Beringraja* (タイプ種: *Raja binoculata* Girard, 1855; *B. binoculata* とメガネカスベ *B. pulchra* (Liu, 1932)の2種から構成され、卵殻に2個以上の胚を持つことを主な特徴とする)と、それぞれ学名未確定の2単系属 (Genus A および Genus B)が含まれる。卵殻の形態から、*Fenestraja* は *Arhynchobatidae* に、*Raja clavata* Linnaeus, 1758 は *Malacoraja* にそれぞれ帰属させるべきと判断された。

(受付2011年11月30日; 受理2012年1月10日)

日本で記録されたイネ科オヒゲシバ属の外来種

Exotic species of the genus *Chloris* (Poaceae) known in Japan勝山輝男¹⁾Teruo KATSUYAMA¹⁾

Abstract. The genus *Chloris*, including about fifty-five species, is biogeographically distributed from tropical to warm temperate zone, mainly in southern hemisphere. Among those species, eight species were known in Japan and all of them are exotic species. *Chloris gayana* and *Chloris virgate* are widely naturalized west of the Kantou district. *Chloris pectinata* and *Chloris truncata* were reported near woolen textile factories in Chiba and Mie Prefectures from 1955 to 1976. These two species are considered to have been imported from Australia in relation to raw wool material. *Chloris barbata* and *Chloris radiata* are rare in the main Japanese Islands, but are common in the Ryukyus and the Ogasawara Islands. In the Ryukyus *Chloris divaricata* has been also naturalized, and *Chloris pycnothrix* is newly found as an immigrant.

Key words: *Chloris*, *Chloris pycnothrix*, exotic species

はじめに

オヒゲシバ属 *Chloris* Sw. は世界の熱帯～暖温帯に約 55 種が知られている (Clayton and Renvoize, 1986)。茎は扁平で葉鞘の背面は竜骨となり、花序は数個の総を掌状につけ、各総は片側に 2 列に多数の小穂をつけ、小穂は 2-3 小花よりなり、最下(第 1)小花は両性、上方の小花は雄性または護穎のみに退化し、熟すと苞穎を残して小花が脱落することなどが属の特徴としてあげられる。日本には在来のもではなく、木場(2003)は帰化植物としてシマヒゲシバ *C. barbata* Sw.、アフリカヒゲシバ *C. gayana* Kunth、クシヒゲシバ *C. pectinata* Benth.、コウセンガヤ *C. radiata* R.Br.、チャボヒゲシバ *C. truncata* R.Br.、オヒゲシバ *C. virgate* Sw. の 6 種を取り上げた。このほか琉球からヒメヒゲシバ *C. divaricata* R.Br. の帰化が報じられている(大井, 1970)。

木場(2003)はクシヒゲシバ *C. pectinata* を除く 5 種については、検索表と記載文を載せているが、クシヒゲシバについては久内(1962)が名古屋への帰化を報じたことのみで、形態についての記述は一切ない。日本でイネ科植物を調べる際には長田(1989)がよく使われるが、長田(1989)に図が掲載されているのはシマヒゲシバ *C. barbata* Sw.、アフリカヒゲシバ *C. gayana* とオヒゲシバ *C. virgate* の 3 種に限ら

れる。また、琉球で採集されたナガヒゲシバ *C. pycnothrix* Trin. の標本が見出された。国内でのオヒゲシバ属植物の情報は少なく、これまで必ずしも正確な同定がなされていたとは思われない。そこで、国立科学博物館などの標本庫に保管されているオヒゲシバ属植物の標本を再調査し、国内への帰化の状況を知るとともに、同定のための検索表の作成と形態の記述を行った。

方 法

神奈川県立生命の星・地球博物館(KPM)、国立科学博物館(TNS)、東京大学(TI)、千葉県立中央博物館(CBM)の標本を調査し、産地、採集年月日、採集者名、標本番号など、ラベルの情報を記録した。

木場(2003)に形態の記述のある 5 種については、全体の大きさ、総の数や長さ、葉の長さや幅、小穂各部の大きさなどが、記載の範囲に含まれているかどうか確かめ、記載の範囲を超える場合には記録した。また、木場(2003)に形態の記述のない、ヒメヒゲシバ *C. divaricata*、クシヒゲシバ *C. pectinata*、ナガヒゲシバ *C. pycnothrix* の 3 種については、標本をもとに記載文を作成した。

都道府県別の分布は太刀掛・中村(2007)をもとにして、その後の文献記録や標本記録を追加した。

結果と考察

木場(2003)が取り上げた 6 種と琉球から報告のあつ

¹⁾ 神奈川県立生命の星・地球博物館
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 449
Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan
katsu@nh.kanagawa-museum.jp

たヒメヒゲシバ *C. divaricata* の他にナガヒゲシバ *C. pycnothrix* の帰化が確認された。

国内に広く帰化しているものは、アフリカヒゲシバ *C. gayana* とオヒゲシバ *C. virgate* の2種で、関東以西の本州、四国、九州、琉球、小笠原に広く帰化している。オヒゲシバは戦前(1922年の熊本県)から記録があるが、中国東北部や朝鮮半島で採集された標本も多く残されており、当時の中国大陸に広く帰化していたと思われる。アフリカヒゲシバの日本への侵入は比較的新しく、1960年代からである。牧草として導入されたものが野生化したものと思われる。

クシヒゲシバ *C. pectinata* (Fig. 1) とチャボヒゲシバ *C. truncate* は本州の限られたところで採集されたのみで、千葉県や三重県では毛織工場周辺で採集されていることから、オーストラリアからの輸入原毛に随伴して入ってきたものと思われる。標本は1955～1976年に採集されたもので、定着はしなかったものと考えられる。

シマヒゲシバ *C. barbata* とコウセンガヤ *C. radiata* は琉球や小笠原では普通に見られるが、本土への帰化は稀である。ヒメヒゲシバ *C. divaricata* とナガヒゲシバ *C. pycnothrix* (Fig. 2) は南西諸島や大東諸島に帰化している。千葉県で1955年に採集されたヒメヒゲシバの標本が1点残されているが、これは輸入原毛に混入して持ち込まれたものである。ナガヒゲシバはこれまで日本への帰化の報告はなかったが、奄美大島(2007年)、沖縄本島(2006年)、西表島(2004年)で採集された標本が確認された。離れた3島から採集されており、すでに南西諸島に広く広がっている可能性がある。

各種の形態や帰化状況の詳細は種ごとの項で記述し

た。オヒゲシバ属の種の分類は小花の構造や形態が検索のキーとなる。日本への帰化が確認された8種の小花をFig. 3に示し、各種への検索表を以下に示す。

- A. 総は平開する
 - B. 第1小花の護穎は切頭.....チャボヒゲシバ *C. truncate*
 - B. 第1小花の護穎の先は尖り、2深裂し、その間から芒が伸びる
 - C. 第2小花は長さ0.5mm以下
 -ナガヒゲシバ *C. pycnothrix*
 - C. 第2小花は長さ1mm以上
 - D. 多年草で地上匍枝を伸ばし、小穂は疎ら(3～7小穂/cm)、総に圧着してつく
 -ヒメヒゲシバ *C. divaricata*
 - D. 1年草で直立、小穂は密(10～14小穂/cm)、総にやや開出してつく.....クシヒゲシバ *C. pectinata*
- A. 総は斜上する
 - B. 小穂は2小花
 - C. 第1小花の護穎は披針形で先は尖り、第2小花の護穎は長さ1mm以下.....コウセンガヤ *C. radiata*
 - C. 第1小花の護穎は倒卵形、第2小花の護穎は長さ1.5-2mm.....オヒゲシバ *C. virgate*
 - B. 小穂は3-4小花
 - C. 第2小花は倒卵形、長さ約1mm
 -シマヒゲシバ *C. barbata*
 - C. 第2小花は長楕円形、長さ約2mm
 -アフリカヒゲシバ *C. gayana*

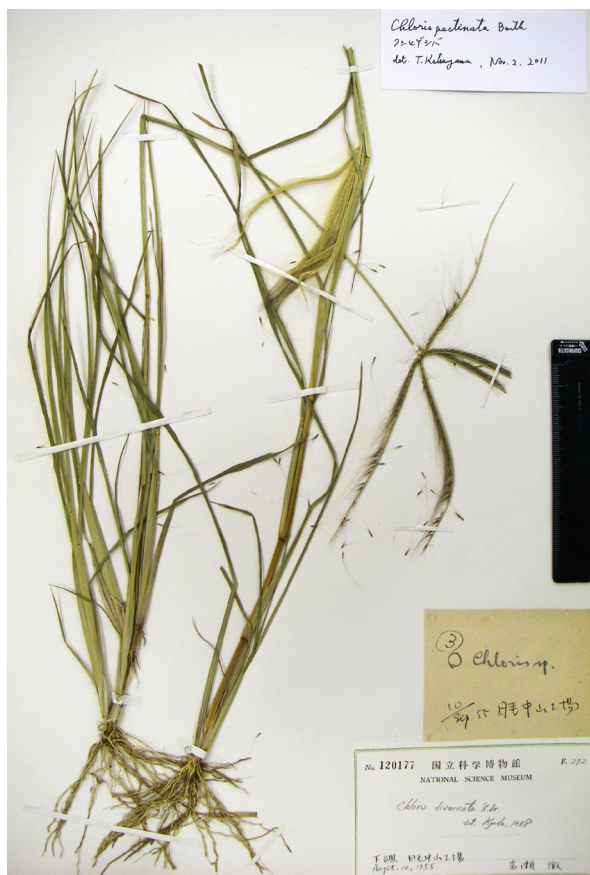


Fig. 1. *Chloris pectinata* collected at the woolen textile factory in Ichihara City, Chiba Prefecture in 1955 (TNS-120177).



Fig. 2. *Chloris pycnothrix* collected in Amami-oshima Island, the Ryukyus (KPM-NA012926).

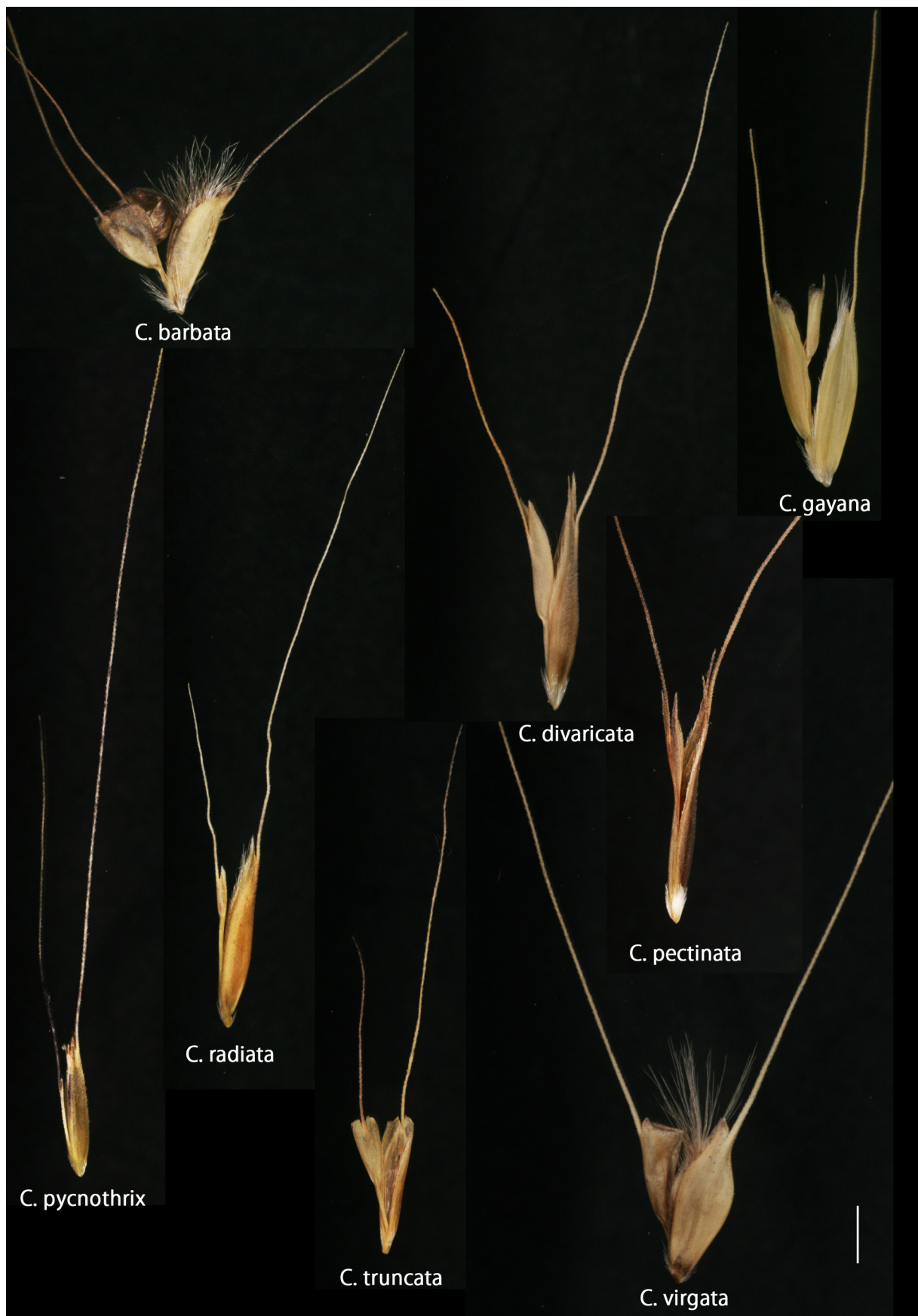


Fig. 3. Florets of eight species of *Chloris*. Scale: 1mm.

1. シマヒゲシバ(ムラサキヒゲシバ、タイワンオヒゲシバ、クロコウセンガヤ)

***Chloris barbata* Sw., Fl. Ind. Occid. 1: 200 (1797).**

Chloris barbata Sw. var. *formosana* Honda in Bot. Mag. Tokyo, 40: 437 (1926).

Chloris formosana (Honda) Keng, Clav. Gram. Prin. Sinicarum, 197 (1957).

Chloris inflata Link, Enum. Hort. Berol. Alt. 1: 105 (1821).

1 年草。茎は直立または基部が倒れて節から根を出し、高さ 25-95cm。葉鞘は背が竜骨になり、口部は長毛がある。葉身は長さ 10-20cm、幅 2-4mm。総は 6-15 本、斜上し、長さ 2-9cm。小穂は 3-4 小花からなり、紫色を帯びることが多く、第 1 小花は両性、上方の小花は護穎のみに退化し不稔。苞穎は披針形で膜質、第 1 苞穎は長さ約 1.5mm、第 2 苞穎は長さ 2-2.8 mm。第 1 小花の護穎は楕円形で長さ約 2mm、上半部に長さ 1-1.5mm の縁毛があり、先は長さ 3-7mm の芒になる。第 2 小花の護穎は基部に明瞭な柄があり、倒卵形で長さ 1-1.2mm、先は長さ 3-7mm の芒がある。第 3 小花は丸く、長さ 0.8-1mm、芒は長さ 2-5mm。

熱帯アメリカ原産。世界の熱帯～暖温帯に広く帰化し、畑地雑草になっている(竹松・一前, 1997)。琉球、小笠原に帰化。本州(神奈川、三重)に一時帰化。

1951 年の沖縄県那覇市がもっとも古い記録である。本州では 1955 年の三重県からの報告がある(太田, 1997)。長田(1989)や桑原(2008)に図が掲載されている。

標本: 東京都. 小笠原村 父島 奥村, 25 Nov. 1968, 山崎 敬 (TI); 同 父島 洲崎 alt.10m, 6 Dec. 2003, 勝山輝男 (KPM-NA0125855); 同 母島 静沢 alt.5m, 5 Jun. 2008, 菅澤桂子 7807 (KPM-NA0148169 & KPM-NA0148170); 同 母島 庚申塚, 10 Nov. 1990, 大野啓一 (CBM-BS-168058 & 168059); 同 硫黄島, 13 Aug. 1997, 長谷川義人 15613-1 (TNS-721377); 同 南鳥島, 5 Feb. 1987, 長谷川義人 (KPM-NA0076844 & KPM-NA0076872). 神奈川県. 横浜市港北区 牛久保町, 15 Sep. 1987, 小崎昭則 (KPM-NA1061054); 藤沢市 善行, 31 Jul. 2001, 松本雅人 (KPM-NA0127648). 沖縄県. 那覇市 西新町, 10 Oct. 1951, 天野鉄夫 6800 (TNS-101602); 島尻郡南大東村 (南大東島)旧東 海軍棒 alt.30m, 24 Jan. 2011, 勝山輝男ほか (KPM-NA0149419); 八重山郡竹富町 (黒島)保里, 4 Nov. 1988, 皆川礼子 R-5895 (TNS-01019486); 同 (西表島) 白浜, 25 Feb. 1992, 原正利・米林 伸 (CBM-BS-168058 & 230024).

2. ヒメヒゲシバ

***Chloris divaricata* R. Br., Prodr. 186 (1810).**

多年草。茎は倒れて節から根を出し、先は立ち上がり、高さ 15-40cm。葉鞘は背が竜骨となり、口部は無毛または長毛がある。葉身は長さ 5-15cm、幅 1-2mm。総は 3-7 本、開出し、長さ 3-10cm、小穂をやや疎らに(片側に 3-7 個/cm)つける。小穂は 2 小花からなり、第 1 小花は両性、第 2 小花は不稔(護穎のみ)。苞穎は披針形で膜質、第 1 苞穎は長さ 1.5-2mm、第 2 苞穎は長さ 2.5-3 mm。第 1 小花の護穎は披針形で長さ 3-4mm、背面はざらつき、上部には縁毛があり、先は 2 深裂し、その間から長さ 5-10mm の芒が伸びる。第 2 小花の護穎は狭楕円形で長さ 1-2mm、先は 2 裂し、間から長さ 1-5mm の芒が伸びる。

オーストラリア原産。北アメリカなどに帰化。沖縄県に帰化。本州(千葉)に記録がある。

1969 年に多和田真淳氏が島尻郡具志頭村で採集したものを首里で栽培し、ヒメヒゲシバと名付け、大井(1970)が本種と同定し報告した。TNS-257398 はこの際の標本と思われる。桑原(2008)は 1978 年の那覇市首里の植物を描いている。千葉県植物誌(木村, 2003)ではヒメヒゲシバは取り上げていないが、1955 年に日毛中山工場で採集された標本(TNS-120179)が残されている。これは輸入原毛に随伴して持ち込まれ、一時的に発生したものと思われる。沖縄県以外からは最近の記録はない。

標本: 千葉県. 市川市 日本毛織中山工場, 10 Sep. 1955, 岩瀬 徹 (TNS-120179). 沖縄県. 那覇市 首里, 栽培, 3 Nov. 1969, 多和田真淳 (TNS-257398); 島尻郡北大東村(北大東島)ハマユウ荘付近, 7 Mar. 2005, 中山博子 (KPM-NA0129786); 同 中野 alt.60m, 26 Nov. 2011, 勝山輝男ほか (KPM-NA0149442 & KPM-NA0149449).

3. アフリカヒゲシバ(ローズソウ)

***Chloris gayana* Kunth, Révis. Gramin. 1: 293, pl. 58 (1830).**

多年草。茎は直立または基部が倒れて節から根を出し、高さ 50-150cm。葉鞘は背が竜骨になり、口部は長毛がある。葉身は長さ 10-30cm、幅 2-7mm。総は 5-16 本、斜上し、長さ 5-10cm。小穂はふつう 3 小花(稀に 4 小花)からなり、淡褐色、稀に紫色を帯びる。苞穎は披針形、膜質でざらつき、第 1 苞穎は長さ 1.5-2mm、第 2 苞穎は長さ 2.5-3 mm。第 1 小花は両性、護穎は長楕円形で長さ約 3mm、上半部に長さ 1-1.5mm の縁毛があり、先は長さ 5-10mm の芒になる。第 2 小花は雄性または稀に両性、長さ 2-2.5mm、先は長さ 2-3mm の芒がある。第 3 小花は護穎のみに退化または稀に雄性で長さ 1mm 以下。

南アフリカ原産の多年草。牧草として熱帯～亜熱帯の各地に導入され、帰化して畑地雑草となっている(竹松・一前, 1997)。本州(群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、長野、愛知、岐阜、三重、大阪、兵庫、山口)、四国(徳島、香川、愛媛、高知(高知県牧野記念財団編, 2009))、九州(福岡、長崎、大分(荒金, 2006)、宮崎、鹿児島)、琉球、小笠原に帰化。

日本へは 1960 年頃に入ったものと思われる。確認できたもっとも古い標本は 1962 年に三重県と愛媛県で採集されたものであった。文献記録も 1960 年の名古屋市がもっとも古い(久内, 1962)。長田(1989)や桑原(2008)に図が掲載されている。

標本: 埼玉県. 比企郡の森林公園, 27 Sep. 1971, 鈴木由告 (TNS-285601); 浦和市 三室, Oct. 1973, T.Kawasaki 4204 (TNS-656477, 657187 & 657582). 千葉県. 鴨川市 上, 19 Oct. 1990, 諏訪文二 (CBM-BS-235386); 野田市 下三ヶ尾 利根運河, 8 Oct. 2000, 長谷川義人 16797 (CBM-BS-179781). 東京都. 小笠原村 父島 洲崎 alt. 10m, 6 Dec. 2003, 勝山輝男 (KPM-NA0125854). 神奈川県. 藤沢市 遠藤, 17 Aug. 2001, 埜村恵美子ほか (KPM-NA0122450 & KPM-NA0122451); 横須賀市 神明町, 6 Oct. 1986, 山内好孝 (KPM-NA1061055); 横浜市鶴見区 上末吉, 8 Sep. 1980, 森 茂弥 (KPM-NA1061056). 三重県. 度合群小俣町, 30 Aug. 1962, 太田久次 (TNS-272439). 兵

庫県. 神戸市中央区 港島南, 22 Jul. 2001, 水田光雄 202084 (TNS-726744); 三原郡南淡町 阿万吹上町 田尻, 26 Oct. 1998, 丸井英幹 2949 (TNS-699287). 山口県. 山口市 平川, 栽培?, 30 Aug. 1964, 岡 国夫 20684 (TNS-215281). 香川県. 加麻良神社, 13 Aug. 1967, 真木弥太郎 (TNS-292908). 愛媛県. 観音寺市 流岡, 1 Aug. 1962, 真木弥太郎 (TNS-286587); 同, 18 Aug. 1965, 真木弥太郎 (TNS-186431). 鹿児島県. 肝属郡内之浦町 五郎ヶ元, 1 Aug. 1997, 長谷川義人 15567 (CBM-BS-163420); 西之表市 (種子島), 4 Jun. 1977, T.Kawasaki 4610 (TNS-661818); 大島郡喜界町 (喜界島) 宮原山, 19 Apr. 1998, 村上治道 407 (TNS-689428); 大島郡宇検村 (奄美大島) 湯湾, 6 Oct. 2009, 中山博子・木村研一 (KPM-NA0137595); 大島郡知名町 新城, 28 Mar. 1984, 山内好孝 (KPM-NA0076978); 大島郡与論町 (与論島), 8 Aug. 1976, 岡 国夫 39703 (TNS-369489). 沖縄県. 中頭郡西原町 千原 琉球大学キャンパス, 19 Mar. 2006, 木場英久 (KPM-NA0124659); 国頭郡今帰仁村, 2 Feb. 2006, 松本雅人 (KPM-NA0127649); 石垣市 (石垣島) 大川, 7 Mar. 1973, 古瀬 義 2594 (KPM-NA0070124); 同 開南, 22 Jun. 1972, 古瀬 義 42 (KPM-NA0076319); 八重山郡竹富町 (黒島) 東筋~南海岸, 27 Aug. 1972, 古瀬 義 924 (KPM-NA0069342).

4. クシヒゲシバ (クシガタオヒゲシバ、クシカザグルマ) *Chloris pectinata* Benth., Fl. Austral. 7: 612 (1878).

1 年草。茎は直立し、高さ 30-40cm。葉鞘は背が竜骨となり、口部は無毛。葉身は長さ 5-20cm、幅 1-3mm、先は尖る。総は 5-6 本、開出し、長さ 8-10cm、小穂を密 (10-14 個 /cm) につける。小穂は 2 小花からなり、第 1 小花は両性、第 2 小花は不稔 (護穎のみ)。苞穎は披針形で膜質、第 1 苞穎は長さ約 1.5mm、第 2 苞穎は長さ約 4 mm。第 1 小花の護穎は披針形で長さ 4-5mm、上部には縁毛があり、先は 2 深裂し、その間から長さ 15-30mm の芒が伸びる。第 2 小花の護穎は狭楕円形で長さ 1.5-2mm、先は 2 裂し、間から長さ 5-10mm の芒が伸びる。

オーストラリア原産。本州 (千葉、愛知) に一時帰化。

国内の記録は岩瀬 徹が 1955 年に市川市日本毛織で採集したのが初めてとされる (木村, 2003)。TNS には岩瀬徹が 1955 年の同じ日に日毛中山工場で採集した *Chloris* sp. 2 (TNS-120179) と *Chloris* sp. 3 (TNS-120177, Fig. 1) の 2 点の標本があり、2 点ともに “*Chloris divaricate* R.Br. det. Kyoda, 1988” の Annotation がついていた。しかしこの 2 点の標本は異なるもので、Barkworth (2003) の記述から前者はヒメヒゲシバ *C. divaricata*、後者が本種と同定された。久内 (1962) は 1960 年に上田豊氏が名古屋市で採集したものを *C. pectinata* と同定し、和名をつけずに報告している。この名古屋産の標本は確認していない。したがって、本種の確実な記録は前述の千葉県市川市のもののみであった。

和名のクシヒゲシバの最初の出典は不明であるが、杉本 (1973) が用いている。小滝・岩瀬 (1962) など、千葉県で本種が発見された当時はクシガタオヒゲシバの和名を用いているが、木村 (2003)、木場 (2003)、太刀掛・中村 (2007) など、最近の出版物ではクシヒゲシバを標準和名としているので、ここでも標準和名はクシヒゲシバを採用した。Corner and Watanabe (1969) にはクシカザグルマの和

名で図とともに掲載されているが、描かれている図は第 2 小花の護穎の先が切頭に描かれており、チャボヒゲシバ *C. truncata* を描いたものと思われる。

標本：千葉県. 市川市 日本毛織中山工場, 10 Sep. 1955, 岩瀬 徹 (TNS-120177 & CBM-BS-300731).

5. ナガヒゲシバ

Chloris pycnothrix Trin., Gram. Unifl. Sesquifl. 234 (1824).

1 年草または多年草。直立または基部が倒れて節から根を出し、高さ 20-40cm。葉鞘は背が竜骨となり、口部には長毛がある。葉身は長さ 5-10cm、幅 3-5mm、先は鈍い。総は 4-6 本、開出し、長さ 4-6cm。小穂は 2 小花からなり、淡褐色でときに紫色を帯び、第 1 小花は両性、第 2 小花は不稔 (護穎のみ)。苞穎は披針形で膜質、第 1 苞穎は長さ 1.5-2mm、第 2 苞穎は長さ 3-4 mm。第 1 小花の護穎は披針形で長さ 2-2.5mm、背面はざらつき、縁毛はなく、先は 2 裂し、その間から長さ 15-25mm の芒が伸びる。第 2 小花の護穎は長さ 1-1.5mm の柄があり、楕円形で長さ 0.5mm 以下、芒は長さ 3-5mm。

日本新産。これまでに日本への帰化の記録はないが、ブラジル産のイネ科雑草を報じた橋本 (1977) に和名がつけられている。今回、琉球への帰化が確認された。Basel & Berlin (1981) や Gibbs Russell et al. (1991) に図が載っている。

総が掌状に開出し、第 1 小花の護穎は先が尖り、長い芒があるため、ヒメヒゲシバ *C. divaricata* やクシヒゲシバ *C. pectinata* に似るが、第 1 小花が著しく小さい (長さ 0.5mm 以下)。第 1 小花が著しく小さいため、総が開出していない未熟な個体はコウセンガヤ *C. radiata* と紛れる可能性がある。今回、本種と同定された標本 (Fig. 2) もコウセンガヤに誤同定されていた。

標本：鹿児島県. 大島郡大和村 (奄美大島) 名音 alt. 25m, 27 Nov. 2007, 勝山輝男・田畑満大 (KPM-NA0129265). 沖縄県. 名護市 屋我地島, 3 Jul. 2006, 松本雅人 (KPM-NA0127650); 八重山郡竹富町 (西表島) 南風見田浜, 2 Oct. 2004, 馬場しのぶほか (KPM-NA0126368).

6. コウセンガヤ (アメリカヒゲシバ、ヒゲシバ)

Chloris radiata R. Br., Prodr. 26 (1788).

1 年草。茎は直立または基部が倒れて節から根を出し、高さ 20-70cm。葉鞘は背が竜骨になる。葉身は長さ 6-30cm、幅 2-6mm。総は 12-25 本、斜上し、長さ 4-11cm。小穂は 2 小花からなり、淡褐色。苞穎は披針形で薄膜質、第 1 苞穎は長さ約 1.5mm、第 2 苞穎は長さ 2.5-3 mm。第 1 小花は両性、護穎は披針形で長さ約 3mm、上半部に長さ約 0.5mm の縁毛があり、先は尖り、2 深裂し、その間から長さ 8-13mm の芒が伸びる。第 2 小花は長い柄があり、護穎のみに退化し、長さ約 1mm、先は 2 裂し、長さ 3-6mm の芒がある。

熱帯アメリカ原産の 1 年草。熱帯~温帯に広く帰化し、畑地や牧草地の雑草になっている (竹松・一前, 1997)。琉球、小笠原に帰化。本州 (群馬、東京、静岡、岡山) に一時帰化。

琉球や小笠原への帰化は古く、1919 年に小笠原諸島の父島、1912 年に大東諸島の沖大東島で採集された標本が

残されている。なお、太刀掛・中村(2007)に神奈川県
の記録があるが、これは「神奈川県植物誌 1988」による
ものでアフリカヒゲシバの誤同定であった(木場, 2001)。桑
原(2008)に図が掲載されている。

標本：東京都 江東区 砂町, 31 Aug. 1949, 檜山庫三
(TNS-82166); 小笠原村 父島 清瀬, Nov. 1910, 採集者不明
(TNS-20548); 同 袋沢, 16 May 1974, 古瀬 義 5829(KPM-
NA0065945); 同 母島, 5 Aug. 1927, 採集者不明(TNS-
545236); 同 桑の木山, 26 Jun. 1976, 古瀬 義 11190(KPM-
NA0074169). 沖縄県 那覇市 上の山, Aug. 1949, 天野鉄夫
6801(TNS-99984); 同 西新町, 10 Oct. 1951, 天野鉄夫 6801
(TNS-101601); 島尻郡北大東村(北大東島), 27 Jan. 1948,
T.Kanashiro 5756(TNS-99986); 同 中野 alt.5m, 26 Jan. 2011, 勝
山輝男ほか(KPM-NA0149448); 同 沖大東島, 4-16 Jul. 1912,
G.Yamada(TNS-99236); 島尻郡南大東村(南大東島), 20 Dec.
1985, J.Haginiwa JHO-28786(TNS-978786); 同, 30 Dec. 2001,
大野啓一(CBM-BS-230023).

7. チャボヒゲシバ(メヒゲシバ)

Chloris truncata R. Br., Prodr. 186 (1810).

多年草。高さ 30-40cm。葉身は長さ 5-20cm、幅 1-3mm、
先は鈍い。総は 8-10 本、開出し、長さ 8-18cm。小穂は
2 小花からなり、第 1 小花は両性、第 2 小花は護穎のみに
退化して不稔。第 1 苞穎は長さ約 1.5mm、第 2 苞穎は
長さ約 3 mm。第 1 小花の護穎は長さ 2-3mm、芒は長さ
6-8mm。第 2 小花の護穎は柄があり、倒卵形で、柄を除
いて長さ 1-1.5mm、芒は長さ 5mm 以下。

オーストラリア原産。本州(千葉、愛知、三重、広島)
に一時帰化。

国内への帰化の記録は久内(1962)の名古屋がもっとも
古い。その後、村田(1992)が三重県への帰化を報告し、
メヒゲシバの和名を新称した。桑原(1982)には *Chloris*
sp. として 1960 年船橋市産の標本を描き、千葉県植物誌(木
村, 2003)ではこれをチャボヒゲシバとして引用している。
千葉県では毛織工場で採集され、三重県鈴鹿市旭ヶ丘や
小俣町にも紡績工場があり(太田, 1997)、これらの記録は
オーストラリアからの輸入原毛に随伴して持ち込まれた
ものと思われる。

標本：千葉県 市川市 市川毛織工場, 14 Aug. 1965, 浅野貞
夫(CBM-BS-191701). 三重県 鈴鹿市 旭ヶ丘, 18 Jul. 1976,
太田久次 11631(KPM-NA0132295); 度合群小俣町, 5 Aug.
1962, 太田久次(TNS-272438); 同, 7 Oct. 1962, 太田久次
(TNS-272437). 広島県 福山市 大門町 津之下, 17 Jul. 1968,
高橋 茂(TNS-286067).

8. オヒゲシバ(セイヨウヒゲシバ、チョウセンオヒゲシ バ)

Chloris virgata Sw., Fl. Ind. Occid. 1: 203 (1797).

1 年草。茎は直立または基部が倒れて節から根を出
し、高さ 20-50cm。葉鞘は背が竜骨になる。葉身は長さ
6-25cm、幅 4-7mm。総は 5-15 本、斜上し、長さ 3-8cm、き
わめて密に小穂をつける。小穂は 2 小花からなり、紫色を
帯びることが多く、苞穎は披針形で膜質、第 1 苞穎は長さ
2-2.5mm、第 2 苞穎は長さ 3-3.5 mm、先は長さ 1-2mm の

芒になる。第 1 小花は両性、護穎は倒卵形で硬く、長さ約
3mm、上半部に長さ 1.5-3mm の縁毛があり、先は長さ 10-
15mm の芒になる。第 2 小花は不稔で護穎のみに退化し、
無毛、長さ 1.5-2mm、先は切形、長さ 5-12mm の芒がある。

北アメリカ原産の 1 年草。熱帯〜亜熱帯に広く帰化し
て畑地雑草になっている(竹松・一前, 1997)。本州(宮城、
栃木、埼玉、千葉、東京、神奈川、愛知、三重、大阪、
和歌山、京都、兵庫、岡山)、四国(高知(高知県牧野記念
財団編, 2009))、九州(福岡、熊本、宮崎)、琉球、小笠原?
に帰化。

日本への帰化の記録は古く、熊本県(1922 年)、栃木県
(1930 年)、福岡県(1933 年)、愛知県(1942 年)などの標本
記録がある。戦前から中国東北部などに帰化し、多くの
標本が残されており、これらの古い記録は中国大陸から
持ち込まれた可能性がある。1990 年代や 2000 年代の神
奈川県での記録は、輸入乾草を扱っていた港湾や牛の肥
育を行っていた畜産農家の周辺で採集されたケースが多く、
輸入乾草からこぼれ落ちた種子から発生したと推定
される。今回の標本調査では琉球や小笠原で採集された
標本は確認できなかったが、初島・天野(1994)や島袋編
(1997)に戦後沖縄に帰化の記述、初島(2004)には種子島
と沖永良部島の記録がある。しかし、小笠原に関しては、
豊田編(2003)に記録はなく、太刀掛・中村(2007)の小笠
原の記録は確認できなかった。長田(1989)や桑原(2008)
に図が掲載されている。

標本：栃木県 足利市 足利駅前, 12 Oct. 1930, 関本平八
(TI). 千葉県 千葉市 黒砂町, 25 Aug. 1967, 浅野貞夫(CBM-
BS-178142); 我孫子市 岡発戸新田, 29 Oct. 1968, 斎藤吉永
(TNS-292031); 市川市 千原台, 6 Nov. 1992, 今井節子(CBM-
BS-47418). 神奈川県 横浜市中区 桜木町, 17 Oct. 1989, 吉
川アサ子(KPM-NA1102274 & KPM-NA1102276); 同 山下町
山下埠頭, 11 Sep. 1997, 山田文雄(KPM-NA0115815); 港北
区 牛久保町, 15 Sep. 1987, 小崎昭則(KPM-NA1061062); 同
区 中川中央, 15 Nov. 1995, 吉川アサ子(KPM-NA1108252);
藤沢市 辻堂, 19 Oct. 2008, 中山博子ほか(KPM-NA0133755);
相模原市 小山, 12 Oct. 2000(菅澤桂子 1235, TNS-773511);
同 淵野辺米軍基地, 25 Sep. 1986, 大場達之ほか(KPM-
NA1061057); 同, 30 Oct. 1983, 太田泰弘(KPM-NA1061058),
海老名市 国分, 14 Aug. 1983, 弓削早苗(KPM-NA1061059);
同 海老名駅, 12 Sep. 1983, 羽野雅子(KPM-NA1061060 &
KPM-NA1061061). 愛知県 海部郡南陽村, 9 Sep. 1932, 稲垣
貫一(CBM-BS-116693); 名古屋市名古屋区 下之一色町, Sep
1942, 稲垣貫一(TI). 三重県 四日市市 四日市港, 8 Oct. 2000,
太田久次(KPM-NA0122796). 京都府 京都市左京区 岩倉三
宅町, 22 Aug. 1968, S.Okamoto(TNS-250818). 兵庫県 加藤
郡東条町 岡本, 30 Oct. 2002, 岩本尚美 5433(TNS-745409).
岡山県 倉敷市 児島塩生, 19 Oct. 1986, 小島裕子(TNS-
01091852). 福岡県 北九州市門司区, 2 Nov. 1933, 鈴木貞夫
(TNS-489392); 福岡市, 15 Aug. 1947, 長田武正(TNS-99238).
熊本県 球磨郡球磨村 神瀬, 10 Sep. 1922, K.Mayebara(TI).

謝 辞

北大東島の調査では城間盛男氏に大変お世話になった。
また、大阪府の植村修二氏、秋田県立大学の森田弘彦氏

からはクシヒゲシバやナガヒゲシバの情報をいただいた。国立科学博物館、東京大学総合研究博物館、千葉県立中央博物館の標本調査にあたっては、標本管理者にお世話になった。この場をお借りして御礼申し上げる。本研究の一部には日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) (課題番号 22300276 研究代表者：高桑正敏)を使用した。

引用文献

- 荒金正憲, 2006. 豊の国大分の植物誌 増補. 491pp. 自費出版.
- Barkworth, M. E., 2003. *Chloris*. Flora of North America Editorial Committee ed., Flora of North America, North Mexico. Vol.25, pp.204-219. Oxford Univ. Press, New York.
- Basel, E. H. and H. S. Berlin, 1981. Grass Weeds 2. 137pp. 22pls. CIBA-GEIGY, Switzerland.
- Clayton, W. D. and S. A. Renvoize, 1986. Genera Graminum, Grasses of the World. *Kew Bulletin Additional series*, **13**: 1-389.
- Corner, E. J. H. and K. Watanabe, 1969. Illustrated Guide to Tropical Plants. 1147pp. Hirokawa, Tokyo.
- Gibbs Russell, G. E., L. Watson, M. Koekemoer, L. Smook, N. P. Barker, H. M. Anderson and M. J. Dallwitz, 1991. Grasses of Southern Africa. 437pp. National Botanic Garden, South Africa.
- 橋本梧郎, 1977. ブラジルの畑地雑草(8). 雑草研究, **22**: 90-95.
- 初島住彦, 2004. 九州植物目録. 鹿児島大学総合研究博物館研究報告, (1): 1-343.
- 初島住彦・天野鉄夫, 1994. 増補改訂 琉球植物目録. 393pp. 沖縄生物学会, 那覇.
- 久内清孝, 1962. 外来イネ科植物を記録する. 植物研究雑誌, **37**: 144.
- 木村陽子, 2003. イネ科(タケ連を除く). 千葉県史料研究財団編, 千葉県植物誌. 711-787pp. 千葉県, 千葉.
- 木場英久, 2001. オヒゲシバ属. 神奈川県植物誌調査会編, 神奈川県植物誌 2001. 328-329pp. 神奈川県立生命の星・地球博物館, 小田原.
- 木場英久, 2003. オヒゲシバ属. 清水建美編, 日本の帰化植物, pp.276-278. 平凡社, 東京.
- 高知県牧野記念財団編, 2009. 高知県植物誌. 844pp. 高知県, 高知.
- 小滝一夫・岩瀬 徹, 1962. 帰化雑草の生態. 雑草研究, (1): 67-70.
- 桑原義晴, 1982. 日本イネ科植物生態図譜 III. 84pp. 北陸植物の会, 金沢.
- 桑原義晴, 2008. 桑原義晴 日本イネ科植物図譜. 503pp. 全国農村教育協会, 東京.
- 村田 源, 1992. 植物分類雑記 21. 植物分類地理, **43**: 153.
- 大井次三郎, 1970. 沖縄島の新帰化植物 3 種. 植物採集ニュース, (48): 9.
- 太田久次, 1997. 改訂 三重県帰化植物誌. 246pp. ムツミ企画, 津.
- 長田武正, 1989. 日本イネ科植物図譜. 759pp. 平凡社, 東京.
- 島袋敬一編, 1997. 改訂版 琉球列島維管束植物集覧. 855pp. 九州大学出版会, 福岡.
- 杉本順一, 1973. 日本草本植物総検索誌 II 単子葉編. 630pp. 井上書店, 東京.
- 太刀掛 優・中村慎吾編, 2007. 改訂増補 帰化植物便覧. 676pp. 比婆科学教育振興会, 広島.
- 竹松哲夫・一前宣正, 1997. 世界の雑草 III 単子葉類. 1057pp. 全国農村教育協会, 東京.
- 豊田武司, 2003. 小笠原植物図譜(増補改訂版). 522pp. アボック社, 鎌倉.

摘 要

勝山輝男, 2012. 日本で記録されたイネ科オヒゲシバ属の外来種. 神奈川県立博物館研究報告(自然科学), (41): 27-33. (Katsuyama T., 2012. Exotic species of the genus *Chloris* (Poaceae) known in Japan. *Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.)*, (41): 27-33.)

オヒゲシバ属 *Chloris* Sw. は熱帯から暖帯に約 55 種が知られ南半球に多い。日本では 8 種が記録されており、いずれも外来種である。アフリカヒゲシバ *Chloris gayana* とオヒゲシバ *Chloris virgata* は関東地方以西に広く帰化している。クシヒゲシバ *Chloris pectinata* とチャボヒゲシバ *Chloris truncate* は 1955 年から 1976 年に千葉県や三重県の毛織工場の周辺で採集された。これらはオーストラリアからの原毛に随伴して持ち込まれたものと思われる。シマヒゲシバ *Chloris barbata* とコウセンガヤ *Chloris radiata* は琉球や小笠原諸島には普通に見られるが、日本本土では稀である。ヒメヒゲシバ *Chloris divaricata* とナガヒゲシバ *Chloris pycnothrix* は琉球に帰化し、ナガヒゲシバは本報告で日本への帰化が初めて確認された。

(受付 2011 年 11 月 24 日; 受理 2011 年 12 月 23 日)

小学生に人類進化を教える出張授業 —博物館の特性をいかした学校向け理科学習プログラムの作成と実践—

Museum Educational Program for Visit Lecture to Elementary School: Human Origins and Evolution

広谷浩子¹⁾・加藤ゆき¹⁾・猪尾武達²⁾

Hiroko KUDO-HIROTANI¹⁾, Yuki KATO¹⁾ & Takesato Io²⁾

Key words: museum, elementary school, visit lecture, specimens loan, teaching materials, human evolution

はじめに

人類の進化については、近年調査研究がめざましく進み、新しい知見が蓄積されてきたが、現在まで学校の授業課程の中で取り上げられることはほとんどなかった(鳩貝, 2007; 松村, 2007; 松村&馬場, 2007; 松村他, 2008; 高山 & 若林, 2008)。さらに、平成 23 年度より始まった小学校課程の新学習指導要領(文部科学省, 2008)及び、24 年度より始まる中学校課程の新学習指導要領(文部科学省, 2008)においても、「人の始まり」を学ぶ機会はほとんどないのが現状である(広谷, 2010)。一方、少数例ではあるが、小中高等学校で人類進化をとり扱った学習例では、生徒の学習意欲や知的好奇心をかきたてる優れた学習テーマだとの報告もある(菊池, 1994; 荒井, 2007; 藤枝, 2007; 平田, 2007, 2008; 宮本, 2008)。

著者らは、研究と学校教育の間のこのようなギャップをうめ、人類進化にかかわる学習を学校教材として定着させたいと考え、博物館の標本を活用した学習プログラムの開発をテーマに研究を始めた。第 1 段階では、神奈川県立生命の星・地球博物館(以下、地球博物館と略す)において、1999 年より継続的に開催している子ども講座をもとに、人類進化についての新しい学習プログラムを作成した。そして、このプログラムを学校で実施する場合の問題点を整理し、さらに問題解決のための指針を博物館側と学校側の「すり合わせの方針」としてまとめた(広谷, 2010)。

問題点/解決指針は以下の 3 点にまとめられる。

1. 博物館の講座は講師 1 人につき受講者が 10 人程度だが、学校では生徒が 30 人から 40 人となり、同時に複数の講師が教える体制も作れない。／解決のために、グループ学習と全体学習の使いわけを行う。
2. 学校では 1 つのテーマあたりの学習時間数が短く、学習指導要領で定めた目標から大きく逸脱した学習を長時間行なえない。／解決のために、教科書の内容に準拠した独自プログラムを作り対応する。
3. 博物館の講座で活用している骨格のレプリカなどの標本資料は、学校での購入や保管がむずかしい。／解決のために、学習テーマを明確にし、それに合わせた学習教材を何セットかつくる。

以上に続く第 2 段階として、本研究では、上記の解決指針をもとに学校の授業時間や単元に合った学校向けの学習プログラムを新たに作成して、神奈川県内の 5 つの小学校で出張授業を行なった。この過程を通じて、解決指針の妥当性を検討した結果、いくつかの知見が得られたので、ここで報告する。報告内容は、「学校向け学習プログラムの作成」と「出張授業の実施」の 2 つに分けられる。

1. 学校向け学習プログラムの作成

学校の教科に、人類進化をそのまま扱う単元はないが、小学校では 4 年と 6 年の理科で人体について学ぶため、そこから発展させて、人体の特徴と進化史を関連づけることができる。また、中学校では動物の分類や進化について学ぶので、進化の一例として人類史を解説することができるだろう。本研究では、新指導要領に基づいて今年度より新たに設定された小学校 4 年理科の「人の体のつくりと運動」という単元に注目し、この単元から発展

¹⁾ 神奈川県立生命の星・地球博物館
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499
Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan
広谷浩子 ; hirotani@nh.kanagawa-museum.jp

²⁾ 〒220-0006 横浜市西区宮ヶ谷
Miyagaya, Nishi-ku, Yokohama, Kanagawa 220-0006, Japan

表 1. 新プログラム「体からわかる私たちの進化」の構成. 新学習指導要領による学習内容, 主な教科書の内容と対応させて, 新しい学習プログラムの学習項目, 学習内容, 代表的教材と展開例をまとめた. このうち, 網掛けセルの内容を出張授業において実施した. * 人類進化解説のタイミングを示した.

文部科学省 新学習指導 要領による 学習内容	体からわかる私たちの進化				「私たちの体と運動」 大日本図書 <>時間数	「人の体のつくりと運動」 学校図書
B 生命・地球	学習項目	学習内容	代表的教材と展開例			
(1) 人の体のつくりと運動						
人や他の動物の体の動きを観察したり資料を活用したりして、骨や筋肉の動きを調べ、人の体のつくりと運動とのかわりについて考えをもつことができるようにする。 ア 人の体には骨と筋肉があること。 イ 人が体を動かすことができるのは、骨、筋肉の働きによること。	[1] 骨の形とはたらき	骨とは何だろう？ 骨のはたらきについてかんがえてみよう	人体骨格模型 チンパンジー骨格模型 人の頭骨模型	骨の形と働きを骨格模型をみながら、学ぶ。 頭骨と脳容量の関係も見る	1 人のほねときん肉 ●運動をするときの体 <1> ●骨と筋肉 <2> ●腕を動かすしくみ <1>	①私たちの体とはほね 私たちのうでや手は、どのようなつくりになっているか。 うでや手のつくりを調べる 【チャレンジ1 観察】 ●予想と観察結果をくらべ、資料などを元にまとめる。
	[2] 骨はどこにある？ どんな形？	骨の形はいろいろ。体のどの部分にあってどんな働きをするか？	ほねほねパズル(作成)	パズルを完成させながら、骨のさまざまな配置を調べる。		
	[3] 筋肉と骨	骨は筋肉を支えて、運動を進める働きをもつ。詳しくみてみよう	動物骨格運動模型	骨・筋肉によってどんな動きができるか？ふりかえってみよう	2 動物のほねときん肉 ●動物の体と人の体 <2> ●ふりかえろう <1>	②体が動くしくみ！体が動くしくみについて、調べてみましょう。 ●うでが曲がるようすを調べる 【チャレンジ2 観察】 やってみよう 動物のほねやきん肉を調べる。 まとめ
	[4] さまざまな運動を人とその他の動物で比較する	骨と筋肉が一体となったおこなわれるような運動について観察し学ぼう ＊人と動物の比較から、人類進化につなげる	動物オリンピック(作成)	人間以外の動物の動きはどうか？ 動物オリンピックで優勝者を予想してみよう		
			人間の手足と進化紙芝居 チンパンジー・ゴリラの手足模型	人間の手足と運動には特別なところがある・進化のお話		
			まとめのクイズシート	単元のポイントを漫画クイズでまとめる		

して人類進化までに至る授業案を作成した。作成にあたっては、神奈川県内の公立・私立小学校で使用する教科書と提示されている授業計画を調べた。使用する教科書によって、標準的な時間数と項目の配置、授業時間が異なるので(教科書ホーム SANSEIDO Co.Ltd, 2011; 東京書籍, 2011; 大日本図書, 2011; 学校図書, 2011)、それぞれに合わせた学習プログラムで対応できるよう準備を進めた。

プログラム作成のものになったのは、夏休みの子ども向け博物館講座「サルからヒトへの進化をさぐる」である。著者たちは、1999 年から毎年、博物館で人類進化に関する子ども講座を開催して、子どもたちにとって新奇な課題を学習するための一定の方法を定着させてきた(広谷, 2010)。この実績を活かして、学校への導入を検討した。こうして作った小学校 4 年生理科用の新しい学習プログラム「体からわかる私たちの進化」は表 1 に示した通りである。学習項目は、「骨の形とはたらき」、「骨の配置」、「筋肉と骨」、「ヒトと他の動物の運動比較」の 4 つとして、それぞれに必要な教材や観察すべき博物館標本を列挙した。人類進化の解説は、4 番目の学習項目の中に位置づけた。参考として、出張授業先の学校が使用している教科書(大日本図書と学校図書)の学習項目と学習内容を示した。このプログラムのうち、出張授業では、後半部を中心に解説した。

使用した教材は、図1に示したとおりである。

博物館の講座を学校へ導入する際の問題解決指針(広谷, 2010)と対応させながら、新しい学習プログラムの特徴をまとめると、以下ようになる。

解決指針 1. グループ学習と全体学習の使いわけ

プログラムでは、テキストを使いながら全体に説明する



図1. 使用した標本類。上段左からコウモリ骨格, ゴリラの手の模型, ヒトの腕の骨(レプリカ), チンパンジーの手の模型。下段左からイルカの前肢骨格, ウシの足の骨格。

時間と10人程度の小グループで標本観察を行なう時間を交互にもてるようにした。小グループでの観察では、先入観を持たずに標本をじっくり観察できるように、5分以上の長い観察時間を設定した。

解決指針2. 教科書の内容に準拠した独自のプログラム

新学習プログラム「体からわかる私たちの進化」では、各学校の使用する教科書に合わせて、学習内容のまとめができるよう、構成を工夫した。テキストには、標本の観察結果やまとめが書ける欄をもうけた(図2)。

解決指針3. 学習テーマを明確にした学習用キットの作成

博物館にある標本資料のうち、授業での使用に耐えられるような強度を持ったものをできる限り選んで、学習キットを作り、それを使ったプログラムを企画した。人の手足との比較材料として用意したチンパンジーとゴリラの手足模型など、丈夫でインパクトも大きい教材は積極的にとりあげた。

学習プログラム作成後は、夏休みの子ども講座において授業を試験的に行なって、生徒からの反応を調べ、実際の授業実施計画作りの参考にした。

2. 出張授業の実施

9月から12月までの間に、5小学校で合計15クラス、458人の児童を対象に授業を行った(表2)。出張先の学校の担当教員(担任または理科専任)とは、授業の進め方や教室の使い方、生徒対応などについて、事前に打ち合わせを行なった。5校のうち1校では、授業を見学して、生徒の様子などを把握した。学校で使用している教科書や教員の授業プランによって、出張授業の位置づけは異なる。「所定の授業の後のまとめ」、「授業の後半部として必要事項を教える」、「説明以外に工作などの体験学習の要素を加える」など、どのタイプの授業なのかを確認し、個別の授業計画を作った。

授業実施計画は、上で作成した学習プログラムの一部を2時間分(90分)にまとめて作成した(表3)。その流れは下になる。

解説1・2: 骨の形と働き及び骨と筋肉の動きについて交通骨格標本を使って解説する。

観察1: ヒトとチンパンジーの前肢の標本を観察しながら、違いを見つけていく。

解説3・4: 前肢の形の変異と動物の生活様式を関連させるため、「歩く」、「泳ぐ」、「掘る」、「飛ぶ」にそれぞれ適応した前肢を持つ動物をとりあげる。結果を予想する。

観察2: 4種の動物の標本を観察し、骨の形を調べて、まとめる。

5 骨と筋肉の関係は動物ではどうなっている？

肩、うで、手を例にしらべてみましょう

1. ヒトのうでと のうでを比べてみます

2. ヒトの手と の手を比べてみます

気づいたことは？

いろいろな動物の肩、うで、手はどうなっているかな？骨の形を考えてみよう。かんさつしたらクイズにこたえてね

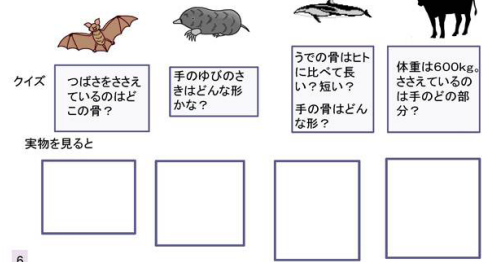


図2. 使用したテキスト抜粋. 標本観察のページでは、観察結果を書く欄をもうけたり、観察のポイントをクイズ形式で示したりした。

解説5・6: ヒトの前肢(手)の働きについて考える。紙芝居を使って、直立二足歩行というヒトに特有な移動様式との関わりを指摘した後に、人類進化のストーリーを解説する。

この進行表にしたがって、授業を実施した。骨・筋肉と運動の関わりを比較する材料は前肢だけに限定し、標本類や説明のための大判チャートを用意した。講師役の広谷以外にも、加藤が猪尾が同行して、教材準備、写真などの記録、標本観察時の解説などを行った。担任の教員には、生徒への指示や標本提示などで支援をいただいた。

授業後は、授業を見学した担任や理科担当の教員からの助言をうけた。アンケート用紙(図3)をあらかじめ提出し、回答をお願いした。いただいた合計13通の回答の概略は以下の通りである。

- 〈生徒の反応、授業の組み立て、テキストなどについて〉
- ・実物を見て、触ったり、動かしたりすることで、興味が増した。
 - ・専門的な話があって、内容が深まった。

表2. 出張授業実施校の生徒数, 時間数(実施学年はすべて4年生). 各学校のクラス数, 生徒数などをまとめた. 授業は, 2時間分(合計90分)の長さで実施した.

学校名	クラス数・生徒数	実施形態	実施時期	使用教科書・設定時間数
茅ヶ崎市立梅田小学校	4クラス 140名	1クラスずつ	9月20・21日	大日本図書 7時間
真鶴町立まなづる小学校	2クラス 40名	2クラス合同	10月 4日	大日本図書 7時間
藤沢市立湘南台小学校	4クラス 130名	1クラスずつ	10月14・18日	大日本図書 7時間
小田原市立下府中小学校	3クラス 94名	1クラスずつ	12月 9日	学校図書 5時間
大井町立上大井小学校	2クラス 54名	2クラス合同	12月 16日	学校図書 5時間
	合計 458名			

- ・筋肉の図など、自分で色塗りをする事で理解が進んだ。
- ・ウシやイルカなど生徒にとって身近な動物が取り上げられ、わかりやすかった。

〈出張授業に期待すること〉

- ・実物をみることができる。
- ・教科書だけでは解説しにくい箇所なので、標本があるとわかりやすい。
- ・専門家の話を聞くことで、内容が充実する。
- ・学校の教材や資料では限界があり、博物館へ連れて行くこともむずかしい。来てもらえたのはとてもよかった。

どの回答においても、標本利用の利点について指摘があり、さらに学校へ導入する場合の問題点として、「取り扱いがむずかしい」「標本に関する専門的知識が必要」などがあげられていた。同様のコメントは、夏休みに開催した学校教員向け講座「秋からの授業に役立つ標本活用

講座」においても、多くの教員から出されていた。

出張授業への期待も多くの教員からも出され、今回の単元以外についても、受入可能との回答をもらった。「学校で勉強したこんなものが博物館にある」と生徒にアピールすると、生徒たちが来館するきっかけにもなるだろうという博物館側のメリットを指摘する回答もあった。

教室での生徒の反応をみると、ふだん見なれない標本に接して、学習への関心が高まっていた。「これ、本物?」「においがする」、「コウモリってこんなに小さいの?」「なぜモグラは目がないの?」などの疑問や驚きのことばが、多くの生徒から発せられた。最初はおそろおそろ標本に触っていたが、時間が経過すると、腕の骨に自分の腕をのせて観察したり、なでたり、じっと見入ったりなど、さまざまな触り方をするようになった(図4)。

授業後の生徒の感想文(4校 97名分)から、学習内容に

表3. 出張授業の進行表. 出張授業中の学習の進め方や使用する教材を時系列にそって示した. 解説1から6及び、観察1から2の内容は、本文中に示した.

経過時間	項目	細項目	使用教材	活動(解説タイム・観察タイム)	
0～10分	骨の形はいろいろ 骨の形は働きとかかわる	1 体をささえる 2 脳や内臓を保護する 3 運動をささえる	人の骨格模型(各学校のものを使用する) チンパンジーの交連骨格標本 テキスト ヒトの頭骨(脳を保護する骨としてみてもらう)	模型を使って解説 骨の働き3つをテキストに記入する	解説1
10～20分	骨と運動 骨と筋肉	骨の働きのうち、運動に注目 骨は筋肉の動きをささえる働きを持つ	ヒトの腕・手の骨格、筋肉モデル テキスト 解説用チャート	 筋肉のつき方を色塗りして確認 指の筋肉のつき方も確認	解説2
20～35分	標本観察1	前肢の形を比べる	ヒトとチンパンジーの前肢 ゴリラ、チンパンジー手の模 型 テキスト	小グループごとに観察、残りはテキスト記入 標本をじっくりみながら、違いを見つける 違いをテキストに記入する	観察1
35～45分	人の骨筋肉まとめ	前肢のつくりをふりかえる	テキストと解説用チャート	観察して気づいたことを答えてもらい、まとめる	解説3
45～50分	休憩				
50～55分	動物の前肢の骨と働きについて	ヒトから発展して動物の場合を考える(導入)	テキストと解説用チャート	テキストに予想図入れる	解説4
55～70分	標本観察2	いろいろな動物の前肢を比較する	標本(モグラ仮剥製、コウモリ・モグラの全身骨格、イルカ・ウシ前肢骨格)	小グループごとに観察、残りはテキスト記入 標本をじっくりみながら、違いを見つける 違いをテキストに記入する	観察2
70～80分	動物の骨(前肢)の働きまとめ 発展 ヒトの進化	ヒトの前肢の形と運動について進化との関わり(導入)	テキストと解説用チャート テキスト	予想にくらべどうだったか、答えてもらう ヒトは前肢で何をしているのか答えてもらう	解説5
80～90分	紙芝居「体からわかる私たちの進化」	動物の場合と比較し、ヒトの運動の特徴を考える 脳の大きさ比較	紙芝居 脳容量ボトル	ヒトとチンパンジーの比較 二足歩行 最古の人類 日本人へ 脳容量の大きな違いをみてもらう	解説6

今後の企画等の参考にさせていただきたいと思いますので、下記のアンケートにご回答ください。

お名前 _____ 担当クラス名 _____

1 博物館からの出張授業について、実施前と実施後にどのような感想を持たれたか、聞かせてください。

2 学校で今回のような体、運動、臓器などをテーマとした授業をする場合について
現在問題として感じていることがありませんか？はい／いいえ（いずれかに○）

あるという方は、具体的に教えてください。
理科の授業を展開する際に、博物館との連携によって、何か得られるものがあると思いますか？
はい／いいえ（いずれかに○）

あるという方は、得られるものについてより具体的に書いてください

3 今後の博物館利用について
見学、出張授業、標本貸し出し、学習会の共催など、さまざまに活用させていただきたいと思います。
何か、希望などあれば、お書きください。

ご協力ありがとうございました 神奈川県立生命の星・地球博物館
哺乳類担当 広谷 浩子 hirotani@nh.kanagawa-museum.jp
鳥類担当 加藤 ゆき

図3. 生命の星・地球博物館出張授業アンケートの抜粋。

ついて触れた部分を抜き出し、具体的に指摘のあった標本名や学習内容についてまとめたのが、表4である。コウモリやモグラといった小さな動物の骨格や剥製への関心は一様に高かった。小さな体の小さな骨が「飛ぶ」「掘る」などの働きを持っているという事実に感動した生徒が多かった。授業中も、子どもたちからは、「こんなに小さいの?」「骨はどこにあるの?」「なぜ、目玉がついていないの?」など、その場でさまざまな質問が出された。また、チンパンジーとヒトの骨の比較は、人類進化の中心テーマであり、著者らが強調したかったことだが、何人かの生徒の感想文の中でふれられていた。

授業後に図鑑を調べたり、家族と話したりした生徒もあり、「もっといろいろ知りたい」と知的好奇心の強さを表わしている感想文もあった。

おわりに

上で報告した2つの研究過程をもとに、「博物館講座を学校に導入する方法」、「出張授業の実施に残された課題」、「人類学を学校で教える可能性」の3点について考察する。

1. 博物館講座を学校へ

国立科学博物館による活用ガイド(2011)は、博物館による学校教育支援の実例を紹介したものであるが、このような視点にたった具体的支援が今後はますます盛んに行なわれるし、学校側からのニーズも数多く寄せられるだろう。

広谷(2010)は、博物館講座を学校の授業へ導入する上での問題点を整理し、解決指針を示した。今回の研究において、これらの指針に基づいた学習プログラムを作成し、学校で実施することができたことから、解決指針は



図4. 出張授業のようす。a: 教室には、骨格標本と解説用の大判チャートを設置した、b: ヒトとチンパンジーの骨格を観察し、みんなで感想を言い合う、c: ヒトの腕を自分のうでに重ねてみる、d: 動物の前肢の特徴をテキストに書き入れる、e: モグラの剥製と交連骨格標本に見入る、f: 人類進化のお話を紙芝居で。

表 4. 生徒の感想文に出てきた動物やテーマ。感想文に書かれていた動物名や項目をまとめた。感想を書いた生徒数のうち、何人が指摘したかを表わしている。結果を学校ごとにまとめた。学校名は以下のとおり。S1: まなづる小学校, S2: 湘南台小学校, S3: 梅田小学校, S4: 下府中小学校。

動物名				
コウモリ	2	4	9	6
ウシ	1	0	0	1
チンパンジー	3	4	6	9
イルカ	1	1	4	5
モグラ	2	4	11	2
項目				
進化		3	1	2
人との違い		6	3	3
学校と調査対象人数	S1 20 人	S2 14 人	S3 34 人	S4 29 人

有効であったと考える。すなわち、博物館の講座で蓄積してきた学習方法を、学校での授業に応用することは十分に可能であり、その際に留意すべき点が確認できたのである。さまざまな授業案の作成や試行を博物館で行ない、効果的な学習方法として練り上げた後に、学校へ導入するという、博物館による学校教育支援のひとつの方法が提示できたのではないだろうか。

2. 出張授業の実施から抽出された課題

博物館の標本を授業に活用する上で、博物館の講座で確立してきた方法を導入することが有用とわかったが、解決すべき問題も残されている。

第 1 点は、博物館側の準備の問題である。現在所蔵する標本類は、生徒が常時動かしたり観察したりする学習場面での使用を想定して作られたものではない。今回の授業においても、1 校を訪問すると、何かが破損するという事態が続いた。標本のうち、生徒が実際に動かして調べるような利用頻度の高いものは、レプリカをつくり、学習キットとして複数セット用意しておく必要があるだろう(樽ほか, 2001)。

第 2 点は、博物館と学校の連携の範囲をどこに定めるかという問題である。人類進化の学習を進めるという目的のため、今回は標本と学習プログラムをすべて持ち込む出張授業という形態をとったが、担当者がひとりで対応できる範囲には限界がある。個々の教員が標本を効果的に使った授業を展開していくことが自然の姿だと思う。そのためには、教員を対象とした支援プログラムをもっと充実させる必要がある。

支援プログラムでは、標本使用の意義や標本の取り扱い方について学び、新しい教材を使った授業例やその他の授業案について検討することができれば、よい流れができるだろう。すでに、国立科学博物館(岩崎, 2011)や釧路市子ども遊学館など、教員研修や自主的勉強会で成果をあげている博物館もある。

著者たちは、出張授業に先立つ夏休みに、「秋からの授業に役立つ先生のための標本活用講座」というタイトルの学校の教員向け講座を開催した。この中で、授業案作成や標本の活用例の紹介なども行なった。参加者はあまり多くなかったが、将来の博物館利用について、活発な意見交換を行なうことができた。このような講座、研修

を情報提供を行なう場としてばかりでなく、教員の自主的活動の支援の一形態として位置づけ、息の長い事業を行なっていくことが必要だと考える。

3. 人類進化をどう教えるか? (学校からのフィードバックを受けて)

著者は、人類進化の学習プログラムを学校へ導入することの困難さについて、指摘してきた(広谷, 2010)。学校が博物館に求めるものと博物館の対応できることの間のズレが日頃よりあるが、学校でほとんど習う機会のない人類進化の学習プログラムでは、この断絶が最大になるだろうと予想したのである。

しかし、今回の出張授業に関する一連の研究過程から、方法次第では、困難さを克服することが可能であるとわかった。学習指導要領が定める学習内容にそった形で、導入を進めることにより、その先に人類進化の学習を展開することができた。教員へのアンケートの回答の大半に書かれていた「専門的な話」「内容の深み」とは、この部分の重要性を指摘したことではないか。

もちろん、このような出張授業がゴールではない。博物館からの物や情報の提供は、できる限り広い範囲の多くの人々に向けられなければならない。アンケートの回答でも、「標本や情報が不足。博物館を訪問したくても、授業時間数や交通手段等の制約のためむずかしい」などの指摘があった。訪問した学校には、人体骨格模型などがひと通りそろっていても、十分に活用されていなかった。情報と物(資料)をつなげて十分に活用できるような支援があるならば、ヒトの特徴と進化を関連させて学ぶ人類進化というテーマは、すぐれた理科教材となるのではないだろうか。今回の出張授業を足がかりに、今後は教員向けの研修や講座の中で人類進化を教材として紹介するため準備をしたいと考える。その際、学習に適した教材の開発と教員の自主研修を支援するしくみづくりの 2 つの方向での検討が重要になるだろう。

謝 辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C)「知のかけ橋・博物館の特性をいかした複合的理科課題の学習方法について」(課題番号 22601015 代表者: 広谷浩子)の助成を受け、実施された。大井町立上大井小学校校長一寸木肇氏には、出張授業の企画実施にあたり多くのご助言をいただいた。授業実施校である茅ヶ崎市立梅田小学校、真鶴町立まなづる小学校、藤沢市立湘南台小学校、小田原市立下府中小学校、大井町立上大井小学校の 4 年生の先生方、理科担当の先生方には、標本の運搬や授業中のサポートを始め、さまざまな形でご支援いただいた。当館の笠間友博学芸員には、学校の紹介や打ち合わせの場面で助けていただいた。また、授業を受けた約 460 名の児童たちは、新しい教材にふれた気持ちをすなおな反応で表してくれた。授業後には、楽しく魅力にあふれた感想をたくさん書いてくれた。ここに記して、深く御礼申し上げる。

引用文献

荒井正春, 2007. 小中学校における人類学教育. *Anthropological*

- Science (Japanese Series)*, **115**: 42-46.
- 大日本図書, 2011. 平成 23 年度用小学校年間指導計画作成資料. Available from internet: <http://www.dainippon-tosho.co.jp/> (downloaded on 2011-09-10)
- 藤枝秀樹, 2007. 高等学校理科における人類学教育の現状. *Anthropological Science (Japanese Series)*, **115**: 49-52.
- 学校図書, 2011. 平成 23 年度用小学校年間指導計画作成資料. Available from internet: <http://www.gakuto.co.jp/> (downloaded on 2011-09-10).
- 鳩貝太郎, 2007. 学習指導要領と生物教育の課題. *Anthropological Science (Japanese Series)*, **115**: 56-60.
- 平田泰紀, 2007. 中学校・高等学校における理科教育にとっての人類学. *Anthropological Science (Japanese Series)*, **115**: 46-49.
- 平田泰紀, 2008. 中学・高校における人類学教育のニーズと教育実践. *Anthropological Science (Japanese Series)*, **116**: 199-202.
- 広谷浩子, 2010. 博物館で人類進化を学ぶー博物館の特性をいかした子ども向け学習プログラムの作成・実践についてー. 神奈川県立博物館研究報告(自然科学), (39): 39-44.
- 岩崎誠司, 2011. 教員研修を学校と博物館の連携を深める機会に. 初等理科教育, (566): 36-37.
- 菊池 明, 1994. 人の体のつくりと暮らし. 166pp. 国土社, 東京.
- 国立科学博物館, 2011. 授業で使える! 博物館活用ガイド 博物館・動物園・水族館・植物園・科学館で科学的体験を. 208pp. 少年写真新聞社, 東京.
- 教科書ホーム SANSEIDO Co.Ltd, 2011. 平成 23 年度用小学校年間指導計画作成資料. Available from internet: <http://tb.sanseido.co.jp/> (downloaded on 2011-09-10).
- 松村秋芳, 2007. 高校教科書から探る進化生物学と人類学教育. *Anthropological Science (Japanese Series)*, **115**: 53-56.
- 松村秋芳・馬場悠男, 2007. シンポジウム「小・中・高校における人類学教育」. *Anthropological Science (Japanese Series)*, **115**: 41.
- 松村秋芳・高山 博・高橋 裕, 2008. 人類の起源は理科の教科書でどのように扱われてきたか. *Anthropological Science (Japanese Series)*, **116**: 202-206.
- 宮本俊彦, 2008. 中等教育段階の生徒における生物進化に対する認識の現状と進化概念形成への人類学学習の効果. *Anthropological Science (Japanese Series)*, **116**: 194-198.
- 文部科学省, 2008a. 中学校学習指導要領. Available from internet: http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/99301.htm (posted on 2008-03-28 by the author)
- 文部科学省, 2008b. 小学校学習指導要領. Available from internet: http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/99301.htm (posted on 2008-03-28 by the author)
- 高山 博・若林美由紀, 2008. 高等学校検定済教科書(日本史・世界史)における人類学記事の時代変化. *Anthropological Science (Japanese Series)*, **116**: 207-210.
- 樽 創・田口公則・大島光春・今村義郎, 2001. 博物館と学校の連携の限界と展望ー中間機関設置モデルの提示ー. 博物館学雑誌, 26(2): 1-10.
- 東京書籍株式会社, 2011. 平成 23 年度用小学校年間指導計画作成資料. Available from internet: <http://www.tokyo-shoseki.co.jp/> (downloaded on 2011-09-10)

(受付 2011 年 11 月 30 日;受理 2012 年 1 月 20 日)

編集委員会

編集委員長	斎藤 靖二	(館長; 地学 [地質学])
編集委員	鈴木 信太郎	(副館長)
	平田 大二	(学芸部長; 地学 [地質学])
	瀬能 宏	(動物学 [魚類分類学・生物地理学])
	新井田 秀一	(環境科学 [海洋光学])
編集事務担当	田中 徳久	(植物学 [植物生態学])

Editorial Board

Editor-in-chief	Yasuji SAITO	(Executive Director; Geology)
Editors	Shintaro SUZUKI	(Deputy Executive Director)
	Daiji HIRATA	(Director of Curatorial Division; Geology)
	Hiroshi SENOU	(Zoology)
	Shuichi NIIDA	(Earth Science)
Editorial Secretary	Norihisa TANAKA	(Botany)

神奈川県立博物館研究報告 (自然科学) 41 号
[神奈川県立博物館 (自然) 41 号]
発行者 神奈川県立生命の星・地球博物館
館長 斎藤靖二
発行日 2012 年 3 月 10 日

神奈川県立生命の星・地球博物館
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499
電話 (0465) 21-1515
FAX (0465) 23-8846
e-mail: plan@nh.kanagawa-museum.jp
URL: <http://nh.kanagawa-museum.jp/index.html>

印刷所 (株)アルファ

Bulletin of the Kanagawa Prefectural Museum (Natural Science), no. 41
[Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.), no. 41]
Published by Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
Published on 1 Mar. 2012

All correspondences concerning the editorial contents of this
bulletin should be addressed to:
Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, JAPAN
Facsimile: +81-(0)465-23-8846
e-mail: plan@nh.kanagawa-museum.jp
URL: <http://nh.kanagawa-museum.jp/index.html>

Printed in Japan

BULLETIN OF
THE KANAGAWA
PREFECTURAL MUSEUM
Natural Science, No.41

Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
Odawara Kanagawa JAPAN
Mar. 2012