

分類群ごとにみた飼育動物の体重と摂取エネルギー量の関係

三好智子¹・袖山修史²・加藤元海^{3*}

¹ 高知大学大学院総合人間自然科学研究科, 高知市 780-8520

² 株式会社海遊館, 土佐清水市 787-0302

³ 高知大学大学院黒潮圏科学部門, 高知市 780-8520

*Corresponding author. E-mail address: genkai@kochi-u.ac.jp

要 約

本研究では、高知県内と大阪府にある5ヶ所の動物園と水族館において、飼育動物の体重と給餌内容から、1日あたりの摂餌量とエネルギー量の推定を行なった。対象生物は、体の大きさではトビからジンベエザメまでを網羅し、分類群では哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類、魚類、頭足類の全35種191個体を対象とした。摂取する餌の重量やエネルギー量と体重の関係について、分類群ごとに特徴がみられるかを検証した。体重に対する餌重量の比の平均値は哺乳類で7.5%、鳥類で12.9%であったのに対して、爬虫両生類、魚類および頭足類は1%未満であった。単位体重あたりの摂取エネルギー量の平均値は哺乳類と鳥類は約100 kcal/kgと高く、その他の分類群では15 kcal/kg未満の低い値となった。単位体重あたりの餌摂取量に関しては恒温動物と変温動物との間に違いがみられたものの、1日あたりの摂取エネルギー量は体重の増大に比例して増加していたことから、飼育動物の摂取エネルギー量は分類群ごとに体重から推定できる可能性が示唆された。

キーワード：分類群、餌、摂取エネルギー量、体重、飼育動物、動物園、水族館

Animal Behaviour and Management, 52 (2): 98-105, 2016
(2015. 3. 16 受付; 2016. 2. 19 受理)

緒 言

動物は食物摂取をエネルギーの供給源とし、体を作る材料としている（シュミット＝ニールセン 2007）。動物の体重の増減は摂取エネルギー量と消費エネルギー量との釣り合いで決まり（菅野と田谷 2003）、消費エネルギー量は基礎代謝量、身体活動によるエネルギー、食事に伴う熱産生から構成される（厚生労働省 2009）。消費エネルギー量のうち基礎代謝量は体重と関連があることが昔から研究されており生理学、薬理学、そして生態学など様々な学問の基礎となっている（八木と及川 2014）。体重は容易に計測ができ生物個体の形などに依存しないことから、一般に個体の大きさの指標とされている（八木ら 2013）。基礎代謝量（ y ）と体重（ x ）は回帰式 $y = ax^b$ で表され、ネズミからウシまで大きさの異なる種間において体重の3/4乗に比例する（ $b = 3/4$ ）ことが知られている（Kleiber 1932）。現在では単細胞生物から魚類、哺乳類などほとんど全ての動物がこの

3/4乗則に従うことが分かってきているが、この数字は対象生物の分類群、地理的な分布域、温度などに依存して多少変化する（八木ら 2013）。

ブタやニワトリなど家畜の摂取エネルギー量に関する研究は古くから行なわれており家畜飼養管理の基本となっている（農業・食品産業技術総合研究機構 2012; 農業・食品産業技術総合研究機構 2013）。一方、動物園や水族館で飼育されている動物の摂取エネルギー量に関する研究報告はほとんどない。本研究では、高知県内と大阪府にある5ヶ所の動物園と水族館において、動物の体重と給餌内容を調査することにより、1日あたりの摂取エネルギー量の推定を行なった。対象生物は哺乳類をはじめ、鳥類、両生類、爬虫類、魚類、頭足類と様々な分類群を扱った。大きさに関しては、体重が0.7 kg程度のトビから推定体重1200 kgのジンベエザメまで幅広く異なる体重の生物を対象とした。動物園や水族館ではさまざまな分類群、個体重の動物が飼育されているが、単位体重あたりの摂餌量や摂取エネルギー量を明らかにできれ

ば動物を飼育する上で参考になる知見となりうる。本研究では、摂取エネルギー量と体重との関係や、単位体重あたりの餌重量や摂取エネルギー量の特徴について、分類群ごとに傾向がみられるかを検証した。

材料と方法

調査概要

2013年4月から2014年11月にかけて、わんぱくこうちアニマルランド（高知市）、桂浜水族館（高知市）、高知県立のいち動物公園（香南市）、高知県立足摺海洋館（土佐清水市）、海遊館と附属施設の以布利センター（大阪市、土佐清水市）の計5ヶ所の動物園と水族館において、飼育動物の体重、摂餌品目、摂餌量、残餌に関する調査を行なった。体重は基本的にひと月に1回の頻度で測定した。摂餌品目、摂餌量、残餌量は、各動物園もしくは水族館で決められている基本の飼料内容を採用した。給餌に日変動がある場合には、体重測定の当日の摂餌品目と摂餌量を採用した。対象種は哺乳類18種72個体、鳥類8種95個体、爬虫両生類5種7個体、魚類3種14個体、頭足類1種3個体の計35種191個体である（表1）。なお、基礎代謝量に関して、一般には絶食下で安静な状態で外部に対して何も活動していない場合の代謝量を指す（八木と及川 2014）。しかし本研究では魚類も対象とすることから、安静な状態であるとともに、鰭などを最小限動かしている安静平常での代謝も基礎代謝量として扱った。

餌中エネルギー含量の推定

動物が摂取した飼料のもつエネルギー含量には、飼料が消化吸収された養分がもつ可消化エネルギー（DE）と、可消化エネルギーから尿やメタンになって体外に排出され損失するエネルギーを差し引いた代謝エネルギー（ME）に分けられる（阿部ら 2008）。本研究におけるエネルギー含量の推定には代謝エネルギーを採用した。各飼育動物の摂餌品目は表1に示した。ペレットや缶詰製品については、各製造会社のホームページまたは商品袋に記載されている代謝エネルギー値を参照した。ホームページまたは商品袋に記載がない商品については、製造会社に直接問い合わせた。一般的な食品と飼料に関するエネルギー含量の推定には香川（1996）と香川（2014）、農業・食品産業技術総合研究機構（2010）に記載されているタンパク質、脂質、炭水化物の含量を参照した。赤アミについてはアミ、金魚はフナ、雄のシシャモはワカサギ、ウズラ頭部は鶏頭で代用した。ドングリについては、種にかかわらず全てシラカシで代用した（佐々木 1991）。ツムギアリについては三橋（2012）、スルメイカの肝臓は奈須

ら（2002）、鶏頭は古賀ら（1976）を参照した。

反芻動物であるシバヤギを除く哺乳類に対しては、タンパク質、脂質、炭水化物のME値を1gあたりそれぞれ3.5、8.5、3.5kcalとして計算した（阿部 2005）。ただし、コオロギについてはFinke（2002）に記載された成虫のME値を採用した。シバヤギについては、日本標準飼料成分表（農業・食品産業技術総合研究機構 2010）の牛の欄に掲載されているME値を参照した。シバヤギの餌である白菜とキャベツは食品成分表（香川 2014）と日本標準飼料成分表の両方に掲載されており、100gあたりのエネルギー含量が2つの文献で大きな違いがないことから（ ≤ 2 kcal）、日本標準飼料成分表に載っていない野菜類については食品成分表のエネルギー値を用いた。リンゴ100gあたりのエネルギー含量は食品成分表では54kcal、日本標準飼料成分表のME値は42kcalであることを考慮して、日本標準飼料成分表に載っていないオレンジと柿に関しては食品成分表に記載されているエネルギー値に $42/54 \approx 0.78$ を乗じたものをME値とした。

鳥類に関しては、以下の計算式を用いた（農業・食品産業技術総合研究機構 2010）。

$$\text{ME (kcal/g)} = (4.13 d_P P + 9.39 d_E E + 4.08 d_N N + 3.82 d_F F) / 100$$

ただし、P、E、N、Fはそれぞれタンパク質、脂質、炭水化物、繊維の割合（%）を表し、 d_P 、 d_E 、 d_N 、 d_F はそれぞれタンパク質、脂質、炭水化物、繊維の消化率を表す。消化率は $d_P = 0.78$ 、 $d_E = 0.88$ 、 $d_N = 0.92$ 、 $d_F = 0.06$ とした（斎藤 1963）。繊維の含量に関しては、農業・食品産業技術総合研究機構（2010）と香川（1996）を参照した。

魚類に関しては、タンパク質、脂質、炭水化物の総エネルギー（GE）値を1gあたりそれぞれ5.7、9.4、4.1kcalとして算出したGE値（kcal/g）に係数0.8を乗じることでDE値、さらにこのDE値に係数0.87をかけることでMEの概算値とした（渡邊 2009）。爬虫両生類や頭足類のエネルギー代謝に関する情報が乏しいことから、これらの分類群についてのエネルギー含量の推定には魚類と同じ方法を適用した。ピンクマウス、ヤングマウス、リタイアマウスのエネルギー含量の推定については、本研究では全て爬虫類の餌となっていることから、Dierenfeldら（2002）に掲載されているGE値に0.8を乗じてDE値とし、さらに0.87を乗じてME値とした。ホッパーマウスはヤングマウスの値で代用した。

毎日摂餌しない動物については、1週間あたりもしくは1ヶ月あたりの摂餌頻度を基に1日あたりのエネルギー量を算出した。のいち動物公園のボールニシキヘビの体重については2014年

飼育動物の摂取エネルギー量

Table 1 Characteristics and main food of the study animals.

Species	Zoo/aquarium ¹⁾	Number of individuals	n ²⁾	Age ³⁾	Sex	Frequency of feeding per week	Taxon	Main food ⁴⁾
guinea pig (<i>Cavia porcellus</i>)	1	6	48	2–5	M ⁵⁾ , F	7	mammal	pellet for guinea pig, timothy hay
Southern tamandua (<i>Tamandua tetradactyla</i>)	3	3	24	1–4	M, F	7	mammal	banana, yogurt, canned cat food, avocado, mango, papaya, pellet for herbivorous animal, powder cat milk, grapefruit, ant
Shiba goat (<i>Capra hircus</i>)	1	1	8	4	M	7	mammal	timothy hay, pellet for herbivorous animal, Chinese cabbage, Japanese mustard spinach, cabbage, apple, orange, tomato, cucumber, Japanese persimmon ⁸⁾
spotted hyene (<i>Crocuta crocuta</i>)	3	2	16	1	F	7	mammal	horse meat, ground chicken (including bone), chicken breast, beef liver, sausage
ringtailed coati (<i>Nasua nasua</i>)	5	5	35	2–4	M, F	7	mammal	pellet for bear, dog food, banana, apple, boiled egg, chicken tenderloin, cricket, chicken head, horse meat, quail head
European rabbit (<i>Oryctolagus cuniculus</i>)	1	3	24	1–4	M, F	7	mammal	pellet for rabbit
Japanese giant flying squirrel (<i>Petaurista leucogenys</i>)	1	1	8	1 ⁶⁾	M	7	mammal	apple, carrot, orange, bread, Japanese mustard spinach, sunflower, acorn ⁸⁾ , peanut ⁸⁾ , Japanese chestnut ⁸⁾ , strawberry ⁸⁾ , Japanese persimmon ⁸⁾ , loquat ⁸⁾ , bayberry ⁸⁾ , grape ⁸⁾ , sand pear ⁸⁾
lesser panda (<i>Ailuurus fulgens</i>)	3	2	14	6, 9	M, F	7	mammal	pellet for herbivorous animal, apple, sweet potato
small clawed otter (<i>Amblonyx cinereus</i>)	3	4	32	5–13	M, F	7	mammal	horse mackerel, pond smelt, canned cat food, squid
cape clawless otter (<i>Aonex capensis</i>)	3	1	8	8 ⁶⁾	M	7	mammal	horse mackerel, pond smelt, canned cat food, squid
American beaver (<i>Castor canadensis</i>)	3	3	18	6–13 ⁶⁾	M, F	7	mammal	apple, sweet potato, carrot, cabbage, Japanese mustard spinach, Chinese cabbage, pellet for herbivorous animal, pellet for giraffe, bread, orange, acorn, pressured barley, soybean, dried sardine, honey
Eurasian river otter (<i>Lutra lutra</i>)	3	2	16	1	F	7	mammal	horse mackerel, rainbow trout, pond smelt, chicken breast, squid
sea otter (<i>Enhydra lutris</i>)	5	1	12	18	F	7	mammal	squid (including entrails), chum salmon, horse mackerel, Atka mackerel, Atlantic capelin (male)
Steller's sea lion (<i>Eumetopias jubatus</i>)	2	1	3	3	F	7	mammal	horse mackerel, Atka mackerel, Pacific saury
spotted seal (<i>Phoca largha</i>)	2	2	6	8, 13	M, F	7	mammal	horse mackerel, mackerel, Atka mackerel, sand lance
spotted seal (<i>Phoca largha</i>)	5	8	93	2–35 ⁶⁾	M, F	7	mammal	mackerel, Atlantic capelin (male), horse mackerel, Atka mackerel
California sea lion (<i>Zalophus californianus</i>)	2	5	8	2–27	M, F	7	mammal	mackerel, Pacific saury, mackerel, Atka mackerel
California sea lion (<i>Zalophus californianus</i>)	3	7	50	3–25	M, F	7	mammal	horse mackerel
California sea lion (<i>Zalophus californianus</i>)	5	8	80	2–28	M, F	7	mammal	horse mackerel, mackerel, Atlantic capelin (male), Atka mackerel
Pacific white-sided dolphin (<i>Lagenorhynchus obliquidens</i>)	5	6	25	4–30 ⁶⁾	M, F	7	mammal	mackerel, Atlantic capelin (male)
bottlenose dolphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	2	1	6	18 ⁶⁾	M	7	mammal	horse mackerel, mackerel, Pacific saury, Atka mackerel
shoebill (<i>Balaeniceps rex</i>)	3	2	7	unknown	M	7	bird	horse mackerel, common carp, golden carp
black kite (<i>Milvus migrans</i>)	1	1	8	4	unknown	5	bird	horse meat, horse liver, pond smelt
call duck (<i>Anas platyrhynchos</i>)	1	3	24	unknown	M, F	7	bird	Chinese cabbage, Japanese mustard spinach, pellet for waterfowl, pellet for flamingo, pet food for bird, krill, apple, tomato, orange
rockhopper penguin (<i>Eudyptes chrysocome</i>)	5	17	186	3–30	M, F	7	bird	Atlantic capelin (male)
humboldt penguin (<i>Spheniscus humboldti</i>)	3	15	104	0–30	M, F	7	bird	horse mackerel
king penguin (<i>Aptenodytes patagonicus</i>)	5	26	272	1–26	M, F	7	bird	Atlantic capelin (male), horse mackerel, Atka mackerel
adelie penguin (<i>Pygoscelis adeliae</i>)	5	11	90	0–13	M, F	7	bird	Atlantic cepelin (male), horse mackerel, Atka mackerel
gentoo penguin (<i>Pygoscelis papua</i>)	3	6	41	1–10	M, F	7	bird	horse mackerel, krill
gentoo penguin (<i>Pygoscelis papua</i>)	5	14	133	0–27	M, F	7	bird	Atlantic cepelin (male), horse mackerel, Atka mackerel
Asian forest tortoise (<i>Manouria emys</i>)	1	1	8	34 ⁶⁾	F	7	reptile	Japanese mustard spinach, Chinese cabbage, tomato, carrot, red leaf lettuce, cucumber, pellet for herbivorous turtle, Japanese radish leaf, apple, orange
ball python (<i>Python regius</i>)	1	1	8	11 ⁶⁾	M	1	reptile	mouse (juvenile)
ball python (<i>Python regius</i>)	3	2	10	7 ⁶⁾	M, F	0–2 ⁷⁾	reptile	mouse (adult, juvenile)
blue tongued skink (<i>Tiliqua scincoides</i>)	1	1	8	9 ⁶⁾	F ⁶⁾	1	reptile	mouse (neonatal)
green turtle (<i>Chelonia mydas</i>)	4	1	2	unknown	unknown	3.5	reptile	horse mackerel, squid
Japanese giant salamander (<i>Andrias japonicus</i>)	1	1	2	24	F	1	amphibian	pond smelt, horse mackerel
sunfish (<i>Mola mola</i>)	5	9	16	unknown	unknown	7	fish	pellet for fish, squid (including entrails), horse mackerel, sea arrow, tiger shrimp
whale shark (<i>Rhincodon typus</i>)	5	4	4	5–9 ⁶⁾	F	7	fish	mysid shrimp, krill, sakura shrimp, whitebait, gel food for shark
slender giant moray (<i>Strophidon sathete</i>)	4	1	3	unknown	unknown	3.5	fish	horse mackerel, squid
chambered nautilus (<i>Nautilus pompilius</i>)	4	3	11	unknown	unknown	3.5	cephalopoda	northern shrimp

¹⁾ 1: Wanpark Kochi Animal Land, 2: Katsurahama Aquarium, 3: Noichi Zoological Park, 4: Ashizuri Kaiyukan Aquarium, 5: Osaka Aquarium Kaiyukan.

²⁾ Number of individual monthly data.

³⁾ Range of age as of November 30, 2014.

⁴⁾ The order of food was arranged according to weight.

⁵⁾ Including one castrated individual.

⁶⁾ Estimated.

⁷⁾ Calculated from monthly data.

⁸⁾ Seasonal food.

8月のデータがないため、この月は7月と9月の体重データの平均値とした。

解析方法

各個体において、基本的にはひと月に1つの体重と摂取エネルギー量のデータを得た（これを、各個体各月別データとよぶ）。ただし、ひと月に複数のデータがある個体はその月内で平均した値を採用した。次に各個体各月別データを個体ごとに各月間で平均したものを、各個体別データとよぶ。最後に各個体別データを種ごとに個体間で平均したものを各種別データとよぶ。

体重と摂取エネルギー量との関係を見るにあたっては、各種別データを採用して単回帰分析を行なった。体重に対する摂餌量（湿重量）の重量比と体重あたりの摂取エネルギー量を種ごとに求めるにあたっては、各個体別データを採用した。各分類群と単位体重あたりの摂取エネルギー量との関係については、各種別データを採用して一元配置分散分析を行なった。分類群は哺乳類、鳥類、爬虫両生類、魚類の4つに分け、頭足類はデータ数が3未満（1種）であったため解析から除外した。平均値に有意な差があるかの多重比較では、Tukey-Kramer法で行なった。統計解析には、フリーの統計分析ソフトウェアRを用いた（R Development Core Team 2015）。

結 果

1日の摂取エネルギー量は体重とともに増加する傾向がみられた（図1）。単回帰分析の結果、いずれの分類群においても摂取エネルギー量（ y ）と体重（ x ）の間には有意な関係があった。回帰式 $y = ax^b$ における回帰直線の傾き（ b の値）は、爬虫両生類と魚類で相対的に哺乳類と鳥類より大きな値となった。

単位体重あたりの摂取エネルギー量は、哺乳類と鳥類は爬虫両生類や魚類と比べると高い値をとる傾向にあった（図2）。単回帰分析の結果、哺乳類で単位体重あたりの摂取エネルギー量と体重との間に有意な関係がみられたが、他の分類群ではみられなかった。

種ごとの体重に対する1日の摂餌量（湿重量）の重量比は、哺乳類ではムササビの19%からミナミコアリクイの3%、鳥類ではコールドックの28%からハシビロコウの6%の範囲、その他の分類群ではエミスマツアシガメのみ2.7%であったが、その他は1%未満であった（図3）。各分類群でみた場合、哺乳類の重量比は $7.52 \pm 0.97\%$ （平均 \pm 標準誤差、 $n = 18$ ）、鳥類では $12.86 \pm 2.23\%$ （ $n = 8$ ）、爬虫類では $0.97 \pm 0.51\%$ （ $n = 4$ ）、両生類では 0.42% （ $n = 1$ ）、魚類で $0.62 \pm 0.15\%$ （ $n = 3$ ）、頭足類で 0.51% （ $n = 1$ ）であった。体

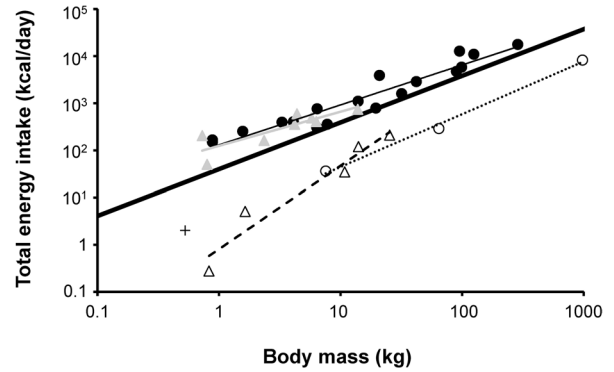


Figure 1 Relationships between total energy intake and body mass based on species data. Plots were categorized by taxon: mammals (closed circles), birds (gray triangles), reptiles and amphibians (open triangles), fish (open circles), cephalopods (plus signs). Simple univariate regression analysis was conducted for each taxon between total energy intake (y) and body mass (x): mammals ($y = 130 x^{0.85}$, $r^2 = 0.92$, $F = 174.4$, $P < 0.01$, thin line), birds ($y = 124 x^{0.73}$, $r^2 = 0.72$, $F = 15.5$, $P < 0.01$, gray line), reptiles and amphibians ($y = 0.81 x^{1.77}$, $r^2 = 0.94$, $F = 45.0$, $P < 0.01$, broken line), fish ($y = 3.35 x^{1.12}$, $r^2 = 0.99$, $F = 229.3$, $P = 0.04$, dotted line), all species ($y = 39.8 x^{0.99}$, $r^2 = 0.59$, $F = 46.8$, $P < 0.01$, thick line). A line of cephalopods was not included because of scarcity of data.

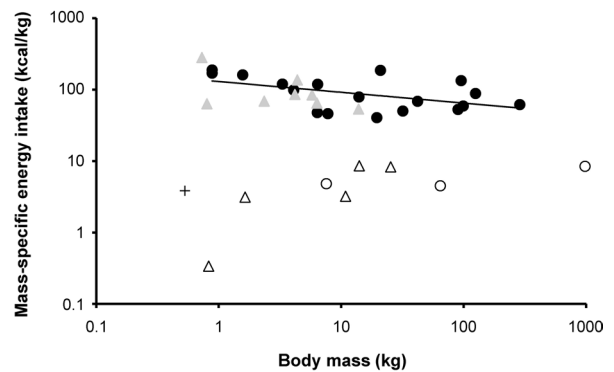


Figure 2 Relationships between mass-specific energy intake and body mass based on species data. Plots were categorized by taxon: mammals (closed circles), birds (gray triangles), reptiles and amphibians (open triangles), fish (open circles), cephalopods (plus signs). Simple univariate regression analysis was conducted for each taxon between mass-specific energy intake (y) and body mass (x): mammals ($y = 130 x^{-0.15}$, $r^2 = 0.26$, $F = 5.5$, $P = 0.03$, thin line), birds ($y = 124 x^{-0.27}$, $r^2 = 0.27$, $F = 2.2$, $P = 0.19$), reptiles and amphibians ($y = 0.81 x^{0.77}$, $r^2 = 0.74$, $F = 8.5$, $P = 0.06$), fish ($y = 3.35 x^{0.12}$, $r^2 = 0.73$, $F = 2.6$, $P = 0.35$), all species ($y = 39.8 x^{-0.01}$, $r^2 = 0.0001$, $F = 0.004$, $P = 0.95$).

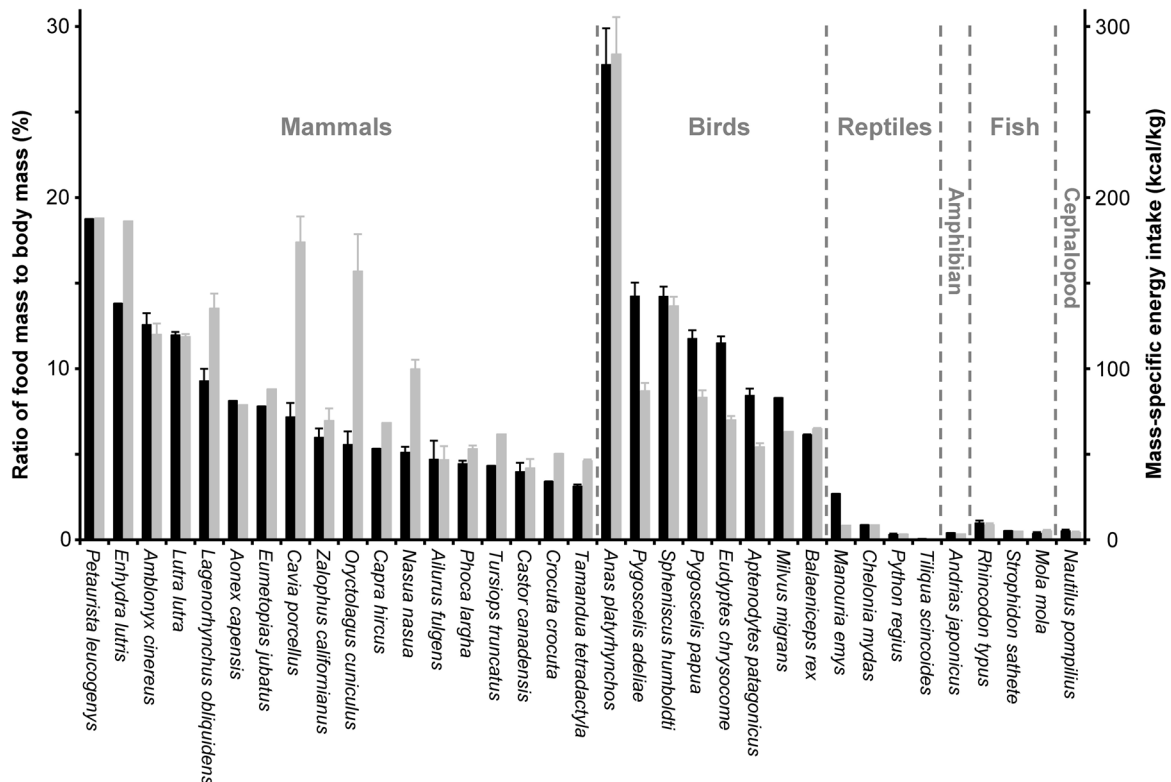


Figure 3 Ratios of food mass to body mass (black bars) and mass-specific energy intake (gray bars) of 35 animal species, based on individual data (mean \pm SE). Species names were arranged from left to right in the following order: mammals, birds, reptiles, amphibian, fish, and cephalopod.

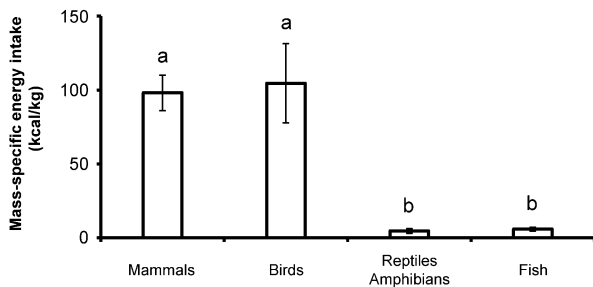


Figure 4 Mass-specific energy intake (mean \pm SE) and taxa based on species data: mammals ($n = 18$), birds ($n = 8$), reptiles and amphibians ($n = 5$), fish ($n = 3$). Cephalopods were not included because of scarcity of data. Differences in letters denote statistically significant differences at $P < 0.05$.

重に対する1日の摂餌量の重量比が大きい種は単位体重あたりの摂取エネルギー量でも高い値を取る傾向がみられたが、特にモルモットとカイウサギでは高い単位体重あたりの摂取エネルギー量となった。

一元配置分散分析の結果、単位体重あたりの摂取エネルギー量は分類群間で有意な差があった ($F_{3,30} = 6.6$, $P < 0.01$, 図4)。多重比較検定の結果、哺乳類と鳥類で単位体重あたりの摂取エネルギー量が高く、爬虫両生類や魚類では低かった。

考 察

飼育動物の摂取エネルギー量は体重とともに増加する傾向が認められた。哺乳類を除けば単位体重あたりの摂取エネルギー量は体重に依らなかったことから、摂取エネルギー量は体重の増加と比例して増えるアロメトリーの関係が示唆された。基礎代謝量においては、体重に比例するよりも小さな割合で増加するアロメトリーの関係があり、異なる動物種であっても個体重の $3/4$ 乗 ($b = 0.75$) に比例して増加がすることがよく知られている (クライバー 1987)。分類群ごとに分けてみると、基礎代謝量における b 値は 0.70 から 0.86 の範囲に収まる (Gordon 1977)。飼育動物における摂取エネルギー量と体重との関係については、基礎代謝量に比べて分類群ごとの b 値にばらつきが多く、哺乳類と鳥類の値は比較的低く、爬虫両生類と魚類では高かった。全種でみた場合、摂取エネルギー量は体重にほぼ比例するアイソメトリーの関係 ($b = 0.99$) がみられた。陸上の哺乳類においては、心臓の重量は体重に比例するアイソメトリーの関係があり (Prothero 1979)、骨格重量は体重比例よりも高い割合 (Prange ら 1979)、脳重量は低い割合 (Stahl 1965) で増加するアロメトリーの関係があることが知られている。全種をひとくくりにした場合に摂取エネルギー

ギー量と体重との間にアイソメトリーの関係がみられたのは、爬虫両生類の b 値が著しく高かったことが要因であろう。基礎代謝量における b 値でも、爬虫類と魚類では高い値を取る傾向にある (Gordon 1977)。また、野生動物のエネルギー消費量 (フィールド代謝率) についても、爬虫類の b 値は他の分類群と比べると高い (Nagy 2005)。爬虫類や両生類は変温動物であり、小さな個体ほど体の表面積: 体積比が大きいいため、寒い時期には冬眠に向けて摂取エネルギー量が急激に減少している可能性が考えられる。実際に、小型爬虫類のハスオビアオジタトカゲやボールニシキヘビは週に 1 回程度の給餌頻度であったが、秋から冬にかけては給餌しても食べないことが多かった。飼育動物の摂取エネルギー量において b 値にばらつきがあったのは、動物の代謝量や呼吸量の測定に比べて、食物摂取量の測定には残餌などがあり正確に行えないことが原因であろう。エネルギー消費量に比べて摂取エネルギー量の日変動は一般にばらつき、例えばヒトではエネルギー消費量の変動は約 10% であるのに対し (Goran ら 1993)、摂取エネルギー量は 20–25% 程度変動することが知られている (Black と Cole 2000)。

体重に対する餌の摂取量の目安は、ブタなどの家畜では風乾飼料の重量で表されるのが一般だが、動物園や水族館で飼育下にある動物や野生動物については餌の湿重量で表現されることが多い。体重に対する 1 日の摂取量の重量比は恒温動物で高く (3–28%)、変温動物では低い傾向にあった (<1%、エミスマツアシガメを除く)。飼育下にある小型ハクジラ類やアシカにおいては体重の 10% 程度の餌を食べる (堤ら 1961)。野生の哺乳類では、ヒゲクジラ類で 2.7–4% 程度と推定されている (Tamura と Konishi 2009)。哺乳類ではムササビ、鳥類ではコールドック、変温動物の中ではエミスマツアシガメで体重に対する餌の重量比が顕著に高かったが、これらの種に共通する特徴として餌中のエネルギー含量の低い野菜や果物などが主要な餌となっていた。一方、体重に対する餌の重量比に比べて単位体重あたりの摂取エネルギー量が高かったモルモットとカイウサギでは餌中のエネルギー含量の高いペレットを主要な餌としていた。

分類群間で単位体重あたりの摂取エネルギー量を比較した場合、哺乳類と鳥類の恒温動物と爬虫類や魚類の変温動物の間で違いがみられた。単位体重あたりの摂取エネルギー量の高い哺乳類と鳥類は、体重に対する摂取量の重量比も高かった。恒温動物は一定の体温を保つため変温動物よりも代謝速度が高いことから (Hemmingsen 1960)、哺乳類と鳥類で単位体重あたりの摂取量や摂取エネルギー量が高くなったのであろう。一方、爬虫類では冬季には代謝速度が低下して不活発になる

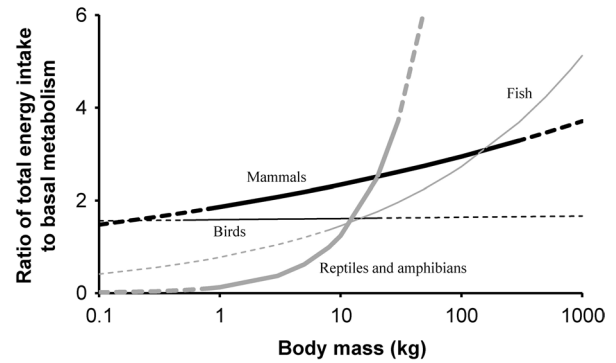


Figure 5 Ratio of total energy intake to basal metabolism in relation to body mass: mammals (thick black line), birds (thin black line), reptiles and amphibians (thick gray line), fish (thin gray line). The weight range of animals belonging to each taxon in this study is indicated by a solid line, and a broken line is extrapolation.

ものもある。実際に、のいち動物公園のボールニシキヘビは、2014 年 9 月から 11 月までひと月に 0 回から 2 回程度しか摂餌しなかったことから、結果として摂取エネルギー量は低くなった。

本研究で得られた摂取エネルギー量と体重との関係と、Gordon (1977) で報告された各分類群の基礎代謝量と体重との関係を基に、1 日の摂取エネルギー量の基礎代謝量に対する比を求めたところ、鳥類では体重とともに比がわずかに減少し、それ以外の分類群では増加した (図 5)。摂取エネルギー量に関して求めた b 値が大きい分類群ほど、体重とともに比の増加がみられた。小型の爬虫両生類で比が 1 より低い値となったが、特に爬虫類では冬季に摂餌量が急激に減少していたことが原因と考えられる。体重との間に基礎代謝量はアロメトリー、摂取エネルギー量ではアイソメトリーの関係があることから、鳥類を除けば大型の個体ほど基礎代謝量に対する摂取エネルギー量は増加した。本研究で対象とした動物のうち最大の個体は推定体重 1200 kg のジンベエザメである。さらに大型の動物については、野生のシャチに関して体重 3338 kg の雌個体の基礎代謝量に対する摂取エネルギー量の比は 5.0、体重 4434 kg の個体雄では 7.3 との報告がある (Noren 2011)。摂取エネルギー量は体重増加に比例して増加したことから、飼育動物の摂取エネルギー量の推定は体重から比較的容易にできる可能性がある。しかし、基礎代謝量と異なり摂取エネルギー量ではなぜ体重との間にアイソメトリーの関係がみられたのかについては本研究のデータからは明らかにはできない。本研究では各分類群で対象とした動物の種数や体重範囲に偏りがあることから、さらに幅広い体重範囲の動物種を対象にしたデータで確かめる必要があろう。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、調査にご協力していただいた、わんぱーくこうちアニマルランド、桂浜水族館、高知県立のいち動物公園、高知県立足摺海洋館の皆様には感謝します。

引用文献

- 阿部又信. 2005. 動物看護のための小動物栄養学. ファームプレス, 東京.
- 阿部亮, 朝井洋, 池谷守司, 石岡宏司, 宇佐川智也, 内海恭三, 大石孝雄, 唐澤豊, 久米新一, 丹羽美次, 並河澄, 吉本正. 2008. 家畜飼育の基礎. 農山漁村文化協会, 東京.
- Black AE, Cole TJ. 2000. Within- and between-subject variation in energy expenditure measured by the doubly-labeled water technique: implications for validating report dietary energy intake. *European Journal of Clinical Nutrition* **54**, 386-394.
- Dierenfeld ES, Alcorn HL, Jacobsen KL. 2002. *Nutrient composition of whole vertebrate prey (excluding fish) fed in zoos*. AZA Nutrition Advisory Group fact sheet: a review. American Zoo and Aquarium Association, Silver Spring.
- Finke MD. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology* **21**, 269-285.
- Goran MI, Beer WH, Wolfe RR, Poehlman ET, Young VR. 1993. Variation in total energy expenditure in young healthy free-living men. *Metabolism* **42**, 487-496.
- Gordon MS. 1977. *Animal physiology: Principles and adaptations* 3rd edn. Collier Macmillan, New York.
- Hemmingsen AM. 1960. Energy metabolism as related to body size and respiratory surfaces, and its evolution. *Reports of the Steno Memorial Hospital and Nordisk Insulin Laboratorium* **9**, 1-110.
- 香川綾. 1996. 四訂食品成分表. 女子栄養大学出版部, 東京.
- 香川芳子. 2014. 食品成分表 2014. 女子栄養大学出版部, 東京.
- 菅野富夫, 田谷一善. 2003. 動物生理学. 朝倉書店, 東京.
- Kleiber M. 1932. Body size and metabolism. *Hilgardia* **6**, 315-353.
- クライバー M. 1987. 生命の火—動物エネルギー— (亀高正夫, 堀口雅昭 訳). 養賢堂, 東京.
- 古賀克也, 福永隆生, 藤井信. 1976. ブロイラー頭部の食品としての利用性について. 鹿児島大学農学部学術報告 **26**, 179-187.
- 厚生労働省. 2009. エネルギー. 日本人の食事摂取基準 2010 年版報告書. pp. 43-61. 厚生労働省, 東京.
- 三橋淳. 2012. 昆虫食古今東西. オーム社, 東京.
- Nagy KA. 2005. Field metabolic rate and body size. *The Journal of Experimental Biology* **208**, 1621-1625.
- 奈須敬二, 奥谷喬司, 小倉通男. 2002. イカ: その生物から消費まで. 成山堂書店, 東京.
- Noren DP. 2011. Estimated field metabolic rates and prey requirements of resident killer whales. *Marine Mammal Science* **27**, 60-77.
- 農業・食品産業技術総合研究機構. 2010. 日本標準飼料成分表 2009 年版. 中央畜産会, 東京.
- 農業・食品産業技術総合研究機構. 2012. 日本飼養標準・家禽 (2011 年版). 中央畜産会, 東京.
- 農業・食品産業技術総合研究機構. 2013. 日本飼養標準・豚 (2013 年版). 中央畜産会, 東京.
- Prange HD, Anderson JF, Rahn H. 1979. Scaling of skeletal mass to body mass in birds and mammals. *American Naturalist* **113**, 103-122.
- Prothero J. 1979. Heart weight as a function of body weight in mammals. *Growth* **43**, 139-150.
- Stahl WR. 1965. Organ weights in primates and other mammals. *Science* **150**, 1039-1042.
- R Development Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing [homepage on the Internet]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna; [version 3.2.0 cited 18 June 2015]. Available from URL: <http://www.r-project.org>.
- 斎藤道雄. 1963. 家禽栄養学. 恒星社厚生閣, 東京.
- 佐々木高明. 1991. 日本史誕生. 集英社, 東京.
- シュミット=ニールセン K. 2007. 動物生理学: 環境への適応 (沼田英治, 中嶋康裕 訳). 東京大学出版会, 東京.
- Tamura T, Konishi K. 2009. Feeding habits and prey consumption of Antarctic minke whale (*Balaenoptera bonaerensis*) in the Southern Ocean. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* **42**, 13-25.
- 堤俊夫, 上村順一, 水江一弘. 1961. 九州西方海域産小型歯鯨の研究— V: 小型歯鯨の食性について. 長崎大学水産学部研究報告 **11**, 19-28.
- 渡邊武. 2009. 魚類の栄養と飼料. 恒星社厚生閣, 東京.
- 八木光晴, 福森香代子, 小山耕平, 森茂太, 及川信. 2013. 代謝スケーリングから見た食う—食われるの関係. 日本生態学会誌 **63**, 103-112.
- 八木光晴, 及川信. 2014. 代謝生態論: 比較生理と生態学をつなぐ新たな代謝スケーリング. 比較生理学 **31**, 20-27.

Relationships between energy intake and body mass in captive animals

Chiko MIYOSHI¹, Shuji SODEYAMA², Motomi GENKAI-KATO^{3*}

¹Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, Kochi 780-8520, Japan

²Osaka Aquarium Kaiyukan, Tosashimizu 787-0302, Japan

³Graduate School of Kuroshio Science, Kochi University, Kochi 780-8520, Japan

*Corresponding author. E-mail address: genkai@kochi-u.ac.jp

Summary

Basal metabolism and energy intake in relation to body mass have long been studied in domestic animals; however, there are few studies on energy intake in captive wild animals. A total of 35 species were studied, including a wide variety of body size ranging from black kite (approx. 0.7 kg) to whale shark (approx. 1200 kg) kept at zoos and aquariums. Based on feeding contents, we here estimated the energy intake of mammals, birds, reptiles, amphibians, fish and cephalopods. The ratios of food mass to body mass were 7.5% and 12.9% in mammals and birds, respectively, whereas the ratios were smaller than 1% in reptiles, amphibians, fish and cephalopods. The mass-specific energy intake took a value of 100 kcal/d in homeotherms (mammals and birds), whereas it took a value of smaller than 15 kcal/d in poikilotherms. The energy intake increased with body mass in a proportional manner, suggesting that the energy intake of captive animals could be simply estimated from body mass.

Keywords: aquarium, body mass, captive animal, energy intake, food consumption, taxon, zoo

Animal Behaviour and Management, 52 (2): 98-105, 2016
(Received 16 March 2015; Accepted for publication 19 February 2016)