

オオヒラタシデムシ成虫における餌が体重増加に与える影響： ミミズ食仮説の検証

綿引洋平¹⁾ 笹川幸治²⁾

¹⁾ 千葉大学・教育学研究科・修士課程 ²⁾ 千葉大学・教育学部

Effects of diet on mass gain of adults of the carrion beetle *Necrophila japonica*:
A test of the earthworm feeder hypothesis

WATAHIKI Yôhei¹⁾ SASAKAWA Kôji²⁾

¹⁾ Graduate School of Education, Chiba University, Japan
Faculty of Education, Chiba University, Japan

シデムシ科（甲虫目）は、温帯の土壤生態系において分解者としての役割を担っている。シデムシ科の食性についての研究の多くはモンシデムシ亜科に関してであり、ヒラタシデムシ亜科については体系的な研究がほとんどされていない。本研究では安定同位体法などでミミズ食が示唆されているオオヒラタシデムシ（ヒラタシデムシ亜科）の食性を、室内飼育実験にて検証した。ミミズ、昆虫幼虫（ミルワーム）、動物肉（牛肉）の各餌で飼育を行い、体重変化から推定した摂食量と体組織への変換量の解析から以下の結果を得た：①繁殖成虫と活動前の新成虫はミミズを最も多く食べる；②繁殖成虫、活動中の新成虫ではミミズが体組織に効率よく変換されるわけではない；③活動前の新成虫は食べたミミズを効率よく体組織に変換する。これらの結果は羽化直後に摂食したミミズが成虫の体組織の多くを構成することを示し、先行の安定同位体法の結果と一致する。

キーワード：シデムシ科（Silphidae）、昆虫（Insect）、室内飼育実験（Laboratory-rearing experiment）、新成虫（New adult）、繁殖成虫（Reproductive adult）

はじめに

シデムシはコウチュウ目（Coleoptera）、カブトムシ亜目（Polyphaga）、ハネカクシ上科（Staphylinoidea）、シデムシ科（Silphidae）に属する地表徘徊性昆虫である。シデムシの中でモンシデムシ亜科（Nicrophorinae）にはつがいで幼虫の世話をする亜社会性を示す種が知られており（Scott 1998; Trumbo et al. 2001）、これまでに多くの研究がおこなわれてきた。一方、同じシデムシ科のヒラタシデムシ亜科（Silphinae）については、より我々の身近に生息するものの、生態に関する体系的な研究がほとんど行われていない。

オオヒラタシデムシ（*Necrophila (Eusilpha) japonica*）はヒラタシデムシ亜科に属するシデムシである。成虫の体長は18-23 mmで、体色は少し青みがかった黒色（槐 2013; 渋谷 2014）、体はやや扁平である。年一化であり、冬眠から覚めた成虫は春から夏にかけて1-2ヶ月の繁殖期間を経て、孵化した個体は冬までに成虫になる（春沢 1996; 黒沢ら 2006）。我々の周りで最も一般的に見られるヒラタシデムシの一つである。モンシデムシ亜科同様、ヒラタシデムシ亜科も動物の死骸を利用する分解者であり（鈴木 2006; 黒沢ら 2006）、土壤生態系において重要な役割を果たしている。

これまでの研究で、オオヒラタシデムシの食性については安定同位体法による解析などからカタツムリやミミ

ズなどの土壤無脊椎動物を主に食べている可能性が示唆されている（池田 2007）。多くのシデムシが腐食性で動物の死体を餌にすると紹介される一方（鈴木 2006）、オオヒラタシデムシはミミズを食べている写真とともに紹介されることがある（槐 2013）。

一般に、動物の餌資源を特定するには、野外での摂食行動を観察するのが最も確実であるが、オオヒラタシデムシのような地表徘徊性昆虫の場合はその観察は困難である。観察可能な場合でも摂食量の定量的評価は困難であり、定性的評価にとどまる。それ以外の方法では野外採集個体の消化管内容物のDNA分析（Harper et al. 2006; Itou et al. 2013）や体組織の安定同位体解析（池田 2007）があるが、それぞれに方法論的問題がある。また、消化管内容物を顕微鏡で直接観察する方法もあるが（渋谷ら 2015）、消化しかけの餌を目視によって判別するのは一般に難しい。室内における飼育実験は、これらの方法に比べ、野外での実際の状況を反映できない問題はあるが、データが定量的であるという長所がある。それに関わらず、オオヒラタシデムシにおいては室内飼育による食性解明実験が行われていない。

そこで本研究では、安定同位体や野外観察において示唆されている「オオヒラタシデムシのミミズ食」について室内飼育実験にて検証することを目的とした。さらに、先行の研究で考慮されてこなかった成虫の成長段階にも注目した。すなわち、①春に野外採集した繁殖成虫、②夏に野外採集した当年中に羽化したと推定される活動中の新成虫、③野外採集の幼虫の室内飼育で得た羽化直後

の活動前の新成虫、の3つの成長段階で実験を行った。

材料

オオヒラタシデムシは千葉県四街道市鹿渡（北緯35度66分36.09秒，東経140度16分90.28秒）で2016年5月15日～16日に30頭の繁殖成虫（15♀15♂）を採集した。活動中の新成虫は千葉大学西千葉キャンパス（北緯35度62分77.37秒，東経140度1分33.68秒）内の薬学部薬用植物園と同教育学部の圃場で2016年9月10日～18日に10頭の成虫（9♀1♂）を採集した。さらに9月の採集では，14頭の幼虫（8♀6♂：羽化してから判別）を採集した。成虫は乾燥防止および給水のための湿らせたキムワイブとともに直径65mm，高さ75mmの円柱状の透明プラスチックの容器（白色プラスチックの蓋つき）に入れ，24℃のインキュベーター（SANYO: MIR-253）内にて，サンプルの条件を揃えるため4日間の絶食処理を行った。幼虫は活動前の新成虫をえるために飼育を行った（方法等は後述）。

実験に用いた餌はミミズ（フトミミズ属 *Pheretima*）の他，昆虫幼虫（ミルワーム：チャイロコメノゴミシダマシ *Tenebrio molitor* の幼虫），動物肉（国産牛挽肉）を使った。昆虫幼虫は同じく地表徘徊性昆虫であるオサムシ科の多くの種の餌であり，ミルワームを利用して多くの種が成虫までの飼育に成功している（Sasakawa 2016）。動物肉は近縁種であるモンシデムシ亜科が利用している（鈴木 2006）。ミミズは千葉大学西千葉キャンパス内で採集した。使用直前に泥を手で絞り出して抜き，キムワイブで粘液を軽くふき取るなどしたのち，心臓にハサミで切り込みをいれて絶命させたものを与えた。ミルワームは熱帯魚店で購入後，レタスを与えて太らせた。餌にする際には，カミソリで頭と消化管を取り除いた。ミミズとミルワームは5mm以下の大きさに切って与えた。牛肉は購入後冷凍保存し，必要に応じて解凍して与えた。

方法

全ての成虫の飼育は24℃，明期16時間・暗期8時間，相対湿度70%になるように設定したインキュベーター内で行った。幼虫の飼育は，インキュベーターの内の振動が成長に影響を与える可能性があるため，24℃の室内にて自然日長で行った。体重測定は電子天秤 ANDHR-202i で計測精度0.01mgで行った。

実験1：春に採集した繁殖成虫

採集した成虫は前述の方法で絶食処理を行った後，体重を測定した。その後それぞれ1種類の餌（ミミズ $n=10$ （4♀6♂），ミルワーム $n=10$ （4♀6♂），牛肉 $n=10$ （4♀6♂））とともにプラスチックシャーレ（直径90mm，高さ15mm）に入れ，24時間摂食処理を行った。餌は食いつくしがおこらないように十分量与えた。今回の実験では1.8g以上とし，食いつくしはおこらなかった。摂食後に体重を測定し，別のプラスチックシャーレに湿らせたキムワイブとともに入れ替え，さらに個体の体重変化を

24時間ごとに6日間計測した。

餌の摂食量は「（摂食処理直後の体重測定値）－（絶食処理直後の体重測定値）」で評価した（摂食した分だけ増加すると考えた）。体組織への同化量は，消化が終わり体重の減少が落ち着く3日目（摂食処理直後を1日目とする）の体重測定値を変化後とし（図1：春に採集した繁殖成虫ミミズを食べた個体の体重推移の例），「（3日目の体重測定値）－（絶食処理直後の体重測定値）」で評価した。

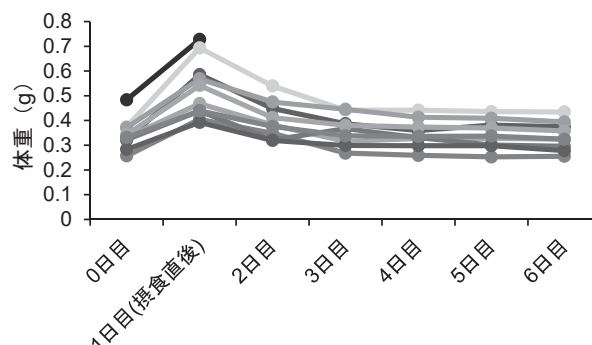


図1. 春に採集した繁殖成虫でミミズを食べた個体の体重推移。3日目から体重の変化が落ち着いているのがわかる。他の餌条件でも同様の結果となる（図略）。

実験2：夏に採集した活動中の新成虫

採集した成虫17頭（ミミズ $n=6$ （3♀3♂），ミルワーム $n=6$ （3♀3♂），牛肉 $n=5$ （3♀2♂））を用いて，実験1と同様の内容を行った。

実験3：室内飼育で得た活動前の新成虫

採集した幼虫を園芸用の土を入れたプラスチック容器（絶食処理に使用したのと同じもの）で，24℃の温度と自然日長にて個別飼育し，羽化させたものを使用した。幼虫飼育の容器には高さ35mm程度まで土をいれ，土の上には適度に湿らせたミズゴケを置いた。餌は牛肉を与え2日に一度取り替えた。個体の観察は毎日行い，蛹化の兆候が現れた場合には土の量を高さ50mm程度まで増やして土中に蛹室を作りやすくした。それにも関わらず地表で蛹化した場合には，土中を模するために容器をアルミホイルで包んだ。羽化成虫は地表に現れたあと，そのまま餌を与えず1～2日ほど個体の体の硬化を待った後，実験に使用した。

実験手順は，絶食処理以外は春，夏の摂食実験と同じである。それぞれ1種類の餌（ミミズ $n=5$ （3♀2♂），ミルワーム $n=5$ （3♀2♂），牛肉 $n=4$ （2♀2♂））で摂食処理を施し，体重を測定した。今回は羽化直後であることを考慮し，春・夏の採集成虫に行った絶食処理は行わず，すぐに摂食処理を開始した。

統計解析

すべての解析はエクセルアドインソフト Satcel 2（柳井2009）で行なった。餌の摂食量については，餌の種類を質的な説明変数，摂食量を量的な応答変数とした。体重変化量については，餌の種類を質的な説明変数，体重

変化量を量的な応答変数とした。

応答変数の正規性と等分散性をそれぞれ適合度検定とパートレット検定で解析した結果、繁殖成虫と活動中の新成虫の実験では餌の摂食量と体重変化量のデータにおいて正規性と等分散性があったため、スチューデントの t 検定で解析を行った。活動前の新成虫を用いた摂食実験では、摂食量で正規性が見られなかったため、ウィルコクソンの符号付順位と検定で摂食量と体重変化量の解析を行った。すべての実験で餌 3 種類 3 通りの組み合わせでの対比較による多重比較を行った。有意水準は 5 % とし、多重比較ではボンフェローニ補正により $0.05/3 = 0.0166\cdots$ となる。

結果

実験 1：春に採集した繁殖成虫

摂食量（平均 $\pm$ 標準誤差）はミミズが $0.184 \pm 0.023\text{g}$ ($n=10$)、ミルワームが $0.075 \pm 0.016\text{g}$ ($n=10$)、牛肉は $0.097 \pm 0.027\text{g}$ ($n=10$) であった（図 2）。統計解析の結果、ミミズとミルワーム間で有意な差があった（ミミズ vs ミルワーム： $t=3.90$, 自由度 18, $P=0.001$ ；ミルワーム vs 牛肉： $t=-0.729$, 自由度 18, $P=0.475$ ；牛肉 vs ミミズ： $t=-2.431$, 自由度 18, $P=0.026$ ；ボンフェローニ法により 5 % 有意水準 $P=0.05$ は $P=0.05/3=0.0166\cdots$ となることに注意）。体重の変化量（体組織への同化量：平均 $\pm$ 標準誤差）はミミズは $0.034 \pm 0.011\text{g}$ ($n=9$ ：3 日目より前に死亡した 1 個体を除く）、ミルワームは $0.034 \pm 0.011\text{g}$ ($n=10$)、牛肉は $0.047 \pm 0.014\text{g}$ ($n=10$) であった。餌間で有意な差はなかった（ミミズ vs ミルワーム： $t=0.009$, 自由度 17, $P=0.993$ ；ミルワーム vs 牛肉： $t=-0.737$, 自由度 18, $P=0.471$ ；牛肉 vs ミミズ： $t=0.722$, 自由度 17, $P=0.480$ ）。

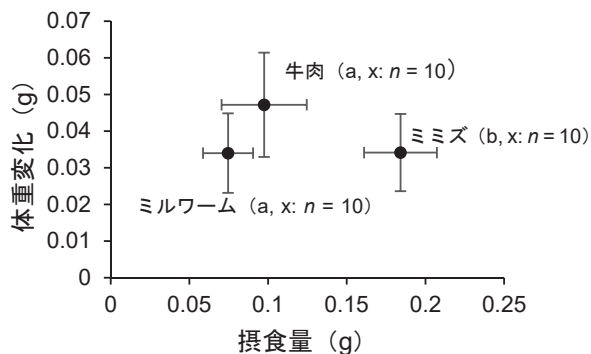


図 2. 実験 1 における体重変化と摂食量（平均 $\pm$ 標準誤差）。同じアルファベットは有意水準 5 % で区別できなかったことを示す（a-b: 摂食量；x: 体重変化）。

実験 2：夏に採集した活動中の新成虫

夏の摂食実験では実験中の成虫の死亡によって、最終的な個体数はミミズ 2 個体、ミルワーム 3 個体、牛肉 3 個体と非常に少なくなってしまった。摂食量（平均 $\pm$ 標準誤差）はミミズが $0.200 \pm 0.082\text{g}$ ($n=2$)、ミルワームが $0.053 \pm 0.016\text{g}$ ($n=3$)、牛肉は $0.070 \pm 0.033\text{g}$ ($n=3$) で

あった。餌間で有意な差はなかった（ミミズ vs ミルワーム： $t=2.285$, 自由度 3, $P=0.106$ ；ミルワーム vs 牛肉： $t=-0.461$, 自由度 4, $P=0.669$ ；牛肉 vs ミミズ： $t=-1.747$, 自由度 3, $P=0.179$ ）。それぞれの餌を食べた場合の体重の変化（平均 $\pm$ 標準誤差）はミミズが $0.034 \pm 0.011\text{g}$ ($n=2$)、ミルワームが $0.034 \pm 0.011\text{g}$ ($n=3$)、牛肉が $0.047 \pm 0.014\text{g}$ ($n=2$) であった。これらの餌間の差も有意ではなかった（ミミズ vs ミルワーム： $t=1.604$, 自由度 3, $P=0.207$ ；ミルワーム vs 牛肉： $t=-1.110$, 自由度 4, $P=0.329$ ；牛肉 vs ミミズ： $t=-0.826$, 自由度 3, $P=0.470$ ）。

実験 3：室内飼育で得た活動前の新成虫

摂食量（平均 $\pm$ 標準誤差）はミミズが $0.194 \pm 0.019\text{g}$ ($n=5$)、ミルワームが $0.056 \pm 0.014\text{g}$ ($n=5$)、牛肉が $0.074 \pm 0.007\text{g}$ ($n=4$) となった（図 3）。統計解析の結果ミミズはミルワーム、牛肉に対して有意に差があった（ミミズ vs ミルワーム： $Z=2.611$, $P=0.009$ ；ミルワーム vs 牛肉： $Z=1.470$, $P=0.142$ ；牛肉 vs ミミズ： $Z=-2.449$, $P=0.014$ ；ボンフェローニ法により 5 % 有意水準 $P=0.05$ は $P=0.05/3=0.0166\cdots$ となる）。

また、それぞれの餌を食べた場合の体重の変化（平均 $\pm$ 標準誤差）はミミズは $0.049 \pm 0.0105\text{g}$ ($n=5$)、ミルワームは $0.019 \pm 0.0150\text{g}$ ($n=5$)、牛肉は $0.005 \pm 0.005\text{g}$ ($n=4$) であった（図 3）。統計解析の結果、ミミズと牛肉間で有意な差があった（ミミズ vs ミルワーム： $t=1.594$, 自由度 10, $P=0.150$ ；ミルワーム vs 牛肉： $t=0.855$, 自由度 9, $P=0.421$ ；牛肉 vs ミミズ： $t=-3.508$, 自由度 9, $P=0.010$ ；ボンフェローニ法により有意水準 $P=0.05$ は $P=0.05/3=0.0166\cdots$ となる）。

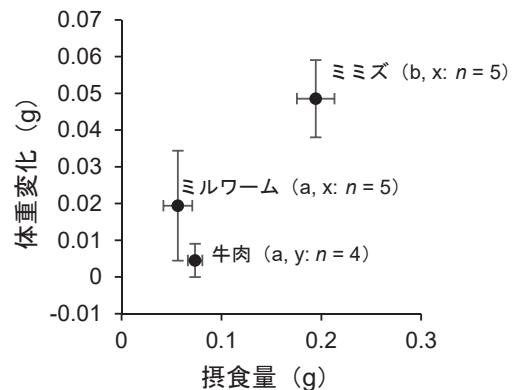


図 3. 実験 3 における体重変化と摂食量（平均 $\pm$ 標準誤差）。同じアルファベットは有意水準 5 % で区別できなかったことを示す（a-b: 摂食量；x-y: 体重変化）。

考察

春に採集した繁殖成虫では、摂食量に関してミミズとミルワーム間で差があり、ミミズのほうが有意に摂食量が多かった。つまりオオヒラタシデムシは昆虫幼虫よりミミズを多く食べるということであり、これは安定同位体解析によるミミズのような土壌無脊椎動物を主に食べているという結果（池田 2007）と一致する。フトミミズは 4～5 月に孵化し、その個体数を増やすことが知られている（内田・金子 2003；塚本 1985；Watanabe 1996）。

4～5月の冬眠明けのオオヒラタシデムシは増えたミミズを食べて生活していることが示唆される。

一方で採集した繁殖成虫と活動中の新成虫において、体重変化の結果からは、ミミズ食が成虫の体組織構成に正の効果をもたらすことを示す結果は得られなかった。繁殖成虫では摂食量に差があったものの体重の変化に有意差がなく、活動中の新成虫においては摂食量、体重変化ともに有意差は見られなかった。これは上で紹介した野外観察や安定同位体法の結果とは矛盾する。ただし、活動中の新成虫の実験では実験中の成虫の死亡によりサンプル数が非常に少なくなってしまったことや、採集した成虫の中に当年羽化した新成虫がどれほどの割合で存在したのかという点で議論の余地がある。

室内飼育で得た活動前の新成虫では摂食量、体重変化量からミミズ食が示唆される結果となった。繁殖成虫、活動中の新成虫の実験の結果と活動前の新成虫の実験の結果の違いは以下に述べるような成虫の成熟度によって生じたと考えられる。

繁殖成虫・活動中の新成虫の体色は青みを帯びた濃い黒色だった。しかし、幼虫から飼育し羽化したばかりの新成虫は赤みをおびた褐色であったことから、まだ成熟しきっていない成虫だったと考えられる。つまり未成熟の成虫にとってミミズは効率よい餌だったと解釈できる。これは安定同位体によるミミズのような土壤無脊椎動物を主に食べているという結果（池田 2007）とよく一致する。未成熟の成虫は餌のミミズから体組織を構成し、黒くて固い成熟した個体へと変化する。対して、成熟しきった成虫は摂食したえさの多くを活動エネルギーに変換していると考えられる。したがって、個体を構成する組織の安定同位体比から餌種を推定する安定同位体法で、ミミズ食が示唆されることは矛盾しない。

今回の実験では性差の違いには特に注目しなかった。産卵など、片方の性にのみある要素も加味することで、今後新たな知見が得られるかもしれない。さらに、今回の成虫に関する実験、とりわけ羽化してすぐの新成虫に関する実験ではミミズ食を支持する結果となったが、幼虫などの他の成長段階に関してもミミズを含めた餌の効果調べる必要があるだろう。

参考文献

槐真史（編著）（2013）ポケット図鑑日本の昆虫1400② トンボ・コウチュウ・ハチ. 文一総合出版
Harper GL, Sheppard SK, Harwood JD, Read DS, Glen DM, Bruford MW, Symondson WOC (2006) Evaluation of temperature gradient gel electrophoresis for the

analysis of prey DNA within the guts of invertebrate predators. *Bulletin of Entomological Research*, 96, 295–304

春沢圭太郎（1996）シデムシ類の飼育—ベッコウヒラタシデムシ—. 昆虫と自然, 31, 13–7

池田紘士（2007）ヒラタシデムシ亜科における食性、飛翔形質、繁殖形質の進化. 博士論文, 東京大学

Itou M, Watanabe M, Watanabe E, Miura K (2013) Gut content analysis to study predatory efficacy of *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae) by molecular methods. *Entomological Science*, 16, 145–150

黒沢良彦・渡辺泰明・栗林慧（2006）甲虫（新装版山溪フィールドブックス⑥）. 山と溪谷社

Sasakawa K (2016) Utility of geometric morphometrics for inferring feeding habit from mouthpart morphology in insects: tests with larval Carabidae (Insecta: Coleoptera). *Biological Journal of the Linnean Society*, 118, 394–409

Scott MP (1998) The ecology and behavior of burying beetles. *Annual Review of Entomology*, 43, 595–618

渋谷園実（2014）関東を中心とした地表徘徊性甲虫. http://hyoka.nenv.k.u-tokyo.ac.jp/ground_beetle_zukan/（アクセス日：2018年9月15日）

渋谷園実・桐谷圭治・村上健・深谷緑・森廣信子・矢島島夫・福田健二（2015）解剖によるクロツヤヒラタゴミムシの食性調査. 昆虫ニューシリーズ, 18 (4), 95–103

鈴木誠治（2006）モンシデムシはなぜ埋葬虫か？. In: 森と水辺の昆虫誌（丸山宗利編）：pp. 85–101. 東海大学出版会

Trumbo ST, Kon M, Sikes D (2001) The reproductive biology of *Ptomascopus morio*, a brood parasite of *Nicrophorus*. *Journal of Zoology*, 255, 543–560

塚本次郎（1985）落葉広葉樹林内の斜面における大型土壤動物についてII ツリミミズとフトミミズ科のミミズ類について. 日本生態学会誌, 35, 37–48

内田智子・金子信博（2003）神奈川県内の2ヶ所の林地におけるフトミミズ類の生活史. 日本土壤動物学会誌, 74, 35–46

Watanabe H (1975) On the amount of cast production by the Megascoriceidae earthworm *Pheretima hupeiensis*. *Pedobiologia*, 15, 20–28

柳井久江（2009）4 Steps エクセル統計（第2版）. オーエムエス出版.

付表 1 実験 1 の生データ。摂食量と体重変化の単位は g。

ミミズ			昆虫幼虫			動物肉		
摂食量	体重変化	性	摂食量	体重変化	性	摂食量	体重変化	性
0.2639	0.0655	♀	0.0525	0.0152	♀	0.1207	0.1283	♀
0.1365	-0.0165	♀	0.0635	-0.0148	♀	0.0532	0.014	♀
0.1483	0.0112	♀	0.1523	0.0683	♀	0.1834	0.0649	♀
0.2441	欠損*	♀	0.0851	0.0678	♀	0.1988	0.0804	♀
0.3195	0.0677	♂	0.1122	0.0623	♂	0.1942	0.0988	♂
0.1973	0.0744	♂	0.0670	0.0824	♂	0.0096	0.015	♂
0.1163	0.0446	♂	0.0071	0.0138	♂	0.1071	0.0244	♂
0.1091	0.0158	♂	-0.0054	-0.0092	♂	0.1206	0.0492	♂
0.1988	0.0376	♂	0.0776	0.0302	♂	0.0508	0.0074	♂
0.1075	0.0069	♂	0.1339	0.0239	♂	-0.0636	-0.0106	♂

*2 日目に死亡

付表 2 実験 2 の生データ。摂食量と体重変化の単位は g。

ミミズ			昆虫幼虫			動物肉		
摂食量	体重変化	性	摂食量	体重変化	性	摂食量	体重変化	性
0.1181	0.0292	♂	0.0274	0.0278	♀	0.0696	0.0805	♀
0.2827	0.1317	♀	0.0479	0.0079	♀	0.1272	0.0359	♀
			0.0822	0.0184	♀	0.0118	0.0094	♀

付表 3 実験 3 の生データ。摂食量と体重変化の単位は g。

ミミズ			昆虫幼虫			動物肉		
摂食量	体重変化	性	摂食量	体重変化	性	摂食量	体重変化	性
0.1545	0.0221	♀	-0.0012	-0.0097	♂	0.0520	0.0058	♂
0.1740	0.0338	♂	0.0689	0.0085	♀	0.0822	-0.0016	♀
0.2557	0.0547	♀	0.0776	0.0279	♀	0.0811	0.0168	♂
0.2193	0.0839	♀	0.0680	-0.0032	♀	0.0790	-0.0030	♀
0.1685	0.0482	♂	0.0685	0.0735	♂			