

果実量が多くゴム樹液量が少ないは餌は、ピグミー・スローロリス

(*Nycticebus pygmaeus*)の歯科疾患の発症と進展を促進する

Francis Cabana,^{1,2*} and K.A.I. Nekaris¹

¹Nocturnal Primate Research Group, Oxford Brookes University, Headington Campus, Gypsy Lane, Oxford, OX3 0BP, United Kingdom

²Paignton Zoo Environmental Park, Paignton, Devon, TQ4 7EU, United Kingdom

アジア産のスローロリスは世界中の動物園やレスキューセンターにおいて見られ、うち *Nycticebus pygmaeus* (ピグミー・スローロリス)が、飼育下で最大の数を誇る。餌は、果実分と濃縮食品が多く、昆虫や花蜜、ゴムは少ないと報告されている。野生での摂食研究では、昆虫や花蜜、ゴムが最も重要な食餌構成物だとする。飼育下にある個体群は、健康問題の高い発生率を示すが、これらの多くは栄養により引き起こされているかもしれない。我々の研究は、飼育下の *N. pygmaeus* の個体群に顕著な疾患について、食餌から原因因子を特定することを目的とする。我々は、世界中の 55 施設に食餌と健康についての質問紙を送付した。返送された食餌情報は栄養面から分析された。各成分の栄養の値と割合は主成分分析で解析された。その結果の因子は、二項ロジスティック回帰分析において変数として使用され、歯科疾患が独立変数として扱われた。39 の質問紙が、合計 49 の食餌内容とともに回収された。20 施設(51.7%)は顕著な歯科問題とともに疾患の存在を報告した。主成分分析で有意だった要素は、ゴム、花蜜、タンパク質、酸性デタージェント繊維、カルシウム、灰分、リン、カリウム、カルシウムリン比、マグネシウム、ビタミン D、エネルギーであった。ゴムは、二項ロジスティック回帰分析において唯一有意な予測変数であった。最後に、関連性についてはカイ二乗検定が、歯科疾患の存在を独立変数として、食餌中の果物類の量について実施された。多量の果実類と、少量からゼロのゴムは、歯科疾患の発症を促進する。現在の飼育食は、*Nycticebus primates* の進化的適応を反映したものではない。Zoo Biol. XX:1-7, 2015.

序文

質問紙は、動物園コミュニティにおいて、重要な情報収集手法となっている。このような手法は、有益な飼育手法を提示し[Wright et al., 2011; Fuller et al., 2013; Rose and Roffe, 2013]、使用されている栄養補助手法や異なる調査手法とその効果を特定し [Fuller et al., 2011; Huber and Lewis, 2011]、ある種の動物における健康や行動上の問題や治療の成功率を調査 [Montaudouin and Le Pape, 2005; Lewis et al., 2010]するのに使用されている。質問紙調査はまた、Fuller et al. [2014]が示したように、予測変数や特定の疾患の原因候補を特定することを期待して、獣医学また

は検死の報告書と併せて使用されている。Fuller et al. [2014]は、動物園・水族館協会(AZA)の加盟施設で飼育されているロリス科の霊長類に焦点を当て、調査した半数以上の報告書が、腎臓疾患のエビデンスを示したと結論した。サンプルの 5 分の 1 は心血管、胃腸、内分泌、代謝、または免疫の疾患の兆候を示した。なぜこんなにも多くの飼育下にあるロリス科の動物が疾患の兆候を示すのかを説明しようとする、多くの著者の試みの中で理論付けられた 1 つの主要な仮説は栄養に関するものであり、これは Debyser [1995]によって最初に唱えられた。

アジアのスローロリスは、世界中の動物園やレスキューセンターで見られ、うちピグミー・スローロリス (*Nycticebus pygmaeus*)が、飼育下で最大の数を誇る。これらの脆弱な霊長類 [Streicher et al., 2008]は、多くが、果実類と濃縮食品が多い餌を与えられている [Fitch-Snyder and Schulze, 2001]。Starr et al. [2013] は、野生のロリス科の食餌は、40%が昆虫、30%が花蜜で、30%が樹液などと観察されたと報告する。果実の摂取はまれで気まぐれなものであった。plant exudate (訳注:exudate は本稿では樹液と訳出されている)は、植物によって作られた様々な物質を含めたり除外したりして、様々に定義されている。本研究で使用されている定義は、Nussinovitch [2009]による、傷ついた樹木の傷から滲み出る液体で、空気に触れると固まるもの、という定義を採用する。すなわち、樹液には、ゴム、樹脂、ラテックス、チクルを含むが、sap は含まない。樹脂を摂取したスローロリスはいまだ確認されていないが、これはおそらく、高配合のテルペノイドやその他の植物性の二次代謝産物が原因である [Nekaris, 2014]。

果実類の摂取は、樹液より栄養とエネルギーに富んだ食餌に見えるかもしれないが、Cabana and Plowman [2014]は、自然の食餌は口にあい、自然な行動の発露をも促進したことを示した。飼育個体の繁殖は北米の Species Survival Plan (SSP)と欧州の European Endangered species Program (EEP)によりモニタリングされており、個別の *N. pygmaeus* は繁殖させるべきか否か、遺伝的多様性確保のため他の施設に移されるべきかを推薦される。それでも、繁殖行為は 2、3 の重要な飼育施設でのみしか成功せず、疾患も一般的である [Debyser, 1995; Fitch-Snyder and Schulze, 2001; Fuller et al., 2014]。全ての研究は、栄養が、繁殖の成功率が低いことや疾患の重要な原因である可能性があるとして述べているが、実証的なエビデンスを提供しようという試みはなされてこなかった。

果実類は、動物園でもレスキューセンターでも、スローロリスの餌に広く使われていることが知られており、ゴム樹液は、主食としてではなく栄養補助としてより用いられている [Fitch-Snyder and Schulze, 2001]。健康問題は広範に報告されており、うち歯の問題が最も顕著である。我々の研究は、飼育下にある世界中の *N. pygmaeus* の個体群における現在のトレンドを特定し、健康問題の広範囲性についての情報を抽出し、*N. pygmaeus* の摂取栄養から原因因子を特定することを目的とする。

実験材料および方法

AZA と EAZA Prosimian Taxon Advisory Group (TAG)の許可と支持を取り付けた後、AZA species survival plan (SSP) または EAZA European Endangered Species Plan (EEP)に登録されている *N. pygmaeus* を最低 1 匹は飼育している全ての動物園に、電子メール経由で、質問紙が送付された。質問紙はまた、ベトナム、インドネシア、タイの動物園やレスキューセンターにも送られた。質問紙は飼育係やキューレーター、獣医により記入されたが、各施設における主たる窓口となる人物に、質問紙の別の箇所については、関連する当局と協力して記入するよう依頼した。この質問紙では、*N. pygmaeus* の各個体の識別についてや、餌に関連する日常の飼育、現在の餌についても質問した。現在の餌が3ヶ月未満からやり始めたものであれば、それ以前の餌についても情報を提供しよう、参加者に依頼した。飼育に関する質問は、1 日につき何度餌が提供されたか、その餌を与える際にどのような表面や器が利用されたか、季節に合わせた餌の変更がなされているか、に限定された。加えて、現在の餌を与えている間の、全ての健康上の問題についての診断の詳細、すなわち歯科、消化、骨格、腎臓、肝臓の疾患や、体毛の状態についての情報を要求した。質問紙は、我々が検討または言及しなかった健康問題についての追加情報を含めることを許容し、促した。

返送された質問紙にリストアップされた食餌のメニューは、Zootrition v2.6 (St. Louis Zoo)というソフトを使用して、栄養濃度について分析された。北米の動物園でリストされた餌の成分については、USDA 栄養データを使用した。欧州の全ての動物園については、以前に英国の Paignton Zoo で分析され Zootrition のデータベースに入力された成分が使用された。アジアの動物園の餌の成分については、我々がインドネシアの Indonesian Institute of Science Nutrition Laboratory (LIPI)で分析した栄養情報が使用された。

我々は、栄養成分に占める幅の最も高い栄養素群をカバーするために各食餌の乾燥質量の累積寄与率が最低でも 85%となるように因子を選択して、主成分分析を行った [Jolliffe, 2002]。主成分分析の結果は、次に予測変数の候補として、二項ロジスティック回帰分析において利用されたが、この分析では疾病の存在または不存在がアウトカムとして使用された [Hosmer and Lemeshow, 2000]。我々はまた、餌の中の果実類の効果を特に調査するため、カイ二乗検定を用いた。我々は餌の中の果実類の割合の、無またはわずか、中度、高度、という度合いを各々1、2、3 という数値に反映させ、各飼育施設に割り当てた。これらの分類は、全体的な果実類の割合の平均へ 1.5 標準偏差を減算または加算することにより決定された。全ての統計解析は IBM の SPSS version 22.0 を使用して行なわれた。報告された健康問題は、個別のスローロリスではなく食餌にリンクされたため、結果は、記述的質問項目については飼育施設ごとに、解析結果については食餌ごとに報告されることとなる。

使用された質問紙は、the Oxford Brookes University Research Ethics Committee (Registration number 150900)より、全面的な承認を得た。

結果

合計 55 (AZA の施設へは 19、EAZA の施設へは 28、アジアの施設へは 8)の質問紙を送り、合計 39 (71%)が返送され (AZA からは 18、EAZA からは 13、アジアからは 8)、160 個体 (AZA からは 31.3%、EAZA からは 21.3%、アジアからは 47.4%)についての回答が得られた。肥満などの特定の症状を抱えた標本への対策としてなどの理由で、複数種類の餌を提供している施設もあったので、世界中の計 47 の餌を分析した。Table 1 は、食品カテゴリ群と、餌にその食品カテゴリを含めている施設数を、餌に占める各食品カテゴリの重量の平均割合とともに、示している。餌の栄養の情報は Table 2 に示されている。歯の健康問題は、20 の施設(51.3%) で見られ、最も顕著であった (Fig. 1)。ほとんどの餌は枝に固定されたボウルまたは皿 (71.8%)で与えられ、棚に置かれたボウルまたは皿 (20.5%)が続いた。非常にわずかな施設が棚に直接置いていた (7.7%)。スローロリスは、1 日 1 回しか給餌されないというケースが一番多く (施設の 59.0%)、それに、1 日 2 回が続き(25.6%)、わずか 15.3%の施設が、毎日の餌を 3 度に分けて与えていた。季節性の餌を与えることは実質的に行なわれておらず、*N. pygmaeus* の野生での生活を反映した餌に変更した施設はなかった。3 施設 (7.8%)が、季節的な体重の増加と減少に対処するため、実際に餌を季節的に変更していた。

主成分分析で因子として用いられた栄養素は、施設の餌の平均ではなく、個別の餌のものを使用した。乾燥ベースでの栄養素濃度は全て、各食品カテゴリの生重量ベースでの割合とともに、主成分分析に投入されたが、これらは合計で 31 因子であった。これらのうち 11 の因子(カルシウム、カルシウムリン比、灰分、マグネシウム、ビタミン D、粗蛋白、ゴム、カリウム、酸性デタージェント繊維 (ADF)、花蜜、エネルギー)でシンプルな構造が得られ、4 つの主成分に組み込まれた。並び替えられた主成分行列は Table 3 に示されている。保持された変数は、全分散の 71.01%を説明可能である。我々は、幾つかの因子の間において、多重共線性を発見した。この場合の強い相関とは、0.700 以上の r 値として定義される。灰分とカルシウム ($r=0.718$)、カルシウムとカルシウムリン比 ($r=0.849$)は全て強く相関したので、灰分とカルシウムリン比は二項ロジスティック回帰分析から除外された。

我々は、どの変数が歯科疾患の存在・欠如の予測変数となりうるのかテストするため、“フォワード・ワールド”ステップワイズ・メソッドを使用した二項ステップワイズ・ロジスティック回帰分析を行った。47 の異なる食餌における、9 の予測変数候補が、二項ロジスティック回帰分析で使用された。全体では、二項ロジスティック回帰分析モデルは有意性が認められ ($\chi^2=38.872, P\leq 0.001$)、ゴムの存在または欠如が、歯科疾患の発生において、有意な予測変数 (Wald=0.031, $df=1$, $P=0.039$)となった (Table 4)。このモデルは、第 1 ステップでケースの 56.8%を、第 2 ステップでケースの 84.1%を、正しく解釈した。

我々はさらに、食餌中の果実の量と歯科疾患の存在の間の関係性において、カイ二乗検定を行うことで、果実の役割を探求した。各施設での異なる果実のレベルを表すために使用された値は、レベル 1 は 28.84 以下の値を含み、レベル 2 は 28.85 から 52.96 の値を含み、レベル 3 は 52.97 以上の値である。全てのセルの期待度数は 5 より大きかった。食餌中の果実の量と歯科疾患の間には、統計的に有意な関連が認められた ($\chi^2(2)=11.113, P=0.004$)。クラメールの連関係数は、

関連性が強いことを示した ($V=0.486$, $P=0.004$)。

TABLE 1. *Nycticebus pygmaeus* の餌に、どの餌でも良いから最低でも1つの食品カテゴリを利用する施設と、餌における、生重量ベースでの各食品カテゴリの平均割合。果実類が世界中の餌に広く使われ、樹液が欠けていることが示唆されている。

| Food item category | Number of collections #(%) | Average proportion by fresh weight % (SD±) |
|------------------------------|-----------------------------|--|
| Concentrate | 26 (66.7) | 17.6 (1.5) |
| Fruit | 33 (84.6) | 40.9 (24.1) |
| Vegetable | 29 (74.4) | 25.8 (22.7) |
| Animal product | 18 (46.2) | 6.5 (8.1) |
| Dairy product | 7 (17.9) | 0.1 (2.7) |
| Invertebrate | 31 (79.5) | 7.3 (6.6) |
| Gum exudate | 14 (35.9) | 2.9 (5.2) |
| Grain or grain-based product | 3 (7.7) | 0.6 (2.5) |
| Nectar | 5 (12.8) | 0.2 (0.6) |
| Other | 6 (15.4) | 0.3 (0.9) |

collections(施設)n=39、diets(餌)n=47。Concentrates (濃縮食品)はペレット・缶詰を、animal products(肉製品)は生肉・調理肉・卵・雛・幼マウスを、Dairy products(乳製品)は in ヨーグルト・チーズ・プリンを、Grains(穀類)は米・パン・パスタを、Other(その他)は蜂蜜・ピーナッツバター・種・ナッツを含む。

TABLE 2. 乾燥重量ベースでの、*Nycticebus pygmaeus* の餌の、栄養素濃度の平均、標準偏差、最大値・最小値

| Nutrient | Units | Mean | SD | Min. | Max. |
|----------|----------|--------|--------|-------|--------|
| Ash | % | 4.98 | 1.03 | 2.70 | 7.29 |
| C. F. | % | 8.58 | 3.42 | 2.55 | 18.30 |
| C. P. | % | 19.64 | 5.19 | 6.70 | 30.91 |
| Ca | % | 0.55 | 0.27 | 0.04 | 1.04 |
| P | % | 0.45 | 0.15 | 0.08 | 0.74 |
| Fe | mg/kg | 100.81 | 77.83 | 1.02 | 342.95 |
| Mg | % | 0.13 | 0.04 | 0.05 | 0.24 |
| Cu | mg/kg | 11.54 | 6.38 | 1.90 | 26.71 |
| K | % | 1.04 | 0.33 | 0.25 | 1.91 |
| Se | mg/kg | 0.59 | 1.47 | 0.02 | 8.01 |
| Na | % | 0.21 | 0.10 | 0.05 | 0.43 |
| Zn | mg/kg | 47.39 | 34.79 | 0.78 | 126.92 |
| Vit C | mg/kg | 683.09 | 516.41 | 66.11 | 2291 |
| Vit D | IU D/g | 5.46 | 4.85 | 0.58 | 21.25 |
| Vit E | mg/kg | 105 | 77.79 | 17.55 | 306.81 |
| NDF | % | 9.98 | 5.31 | 0.85 | 24.16 |
| ADF | % | 5.28 | 3.45 | 0.21 | 15.75 |
| NSC | % | 57.04 | 10.21 | 40.07 | 85.54 |
| Ca:P | | 1.14 | 0.36 | 0.30 | 1.84 |
| Energy | Kcal/day | 75.57 | 36.5 | 24.04 | 178.00 |

Number of diets(餌)=47. 上記の値の算出に利用された全ての値は、乾燥ベースの各餌の最低 85%を代表している。
 Ash 灰分; C.F. 粗脂肪; C.P. 粗蛋白; Ca カルシウム P リン; Fe 鉄; Mg マグネシウム; Cu 銅; K カリウム; Se, セレニウム; Na ナトリウム; Zn 亜鉛; Vit ビタミン; NDF 天然デタージェント繊維; ADF 酸性デタージェント繊維; NSC 非構造炭水化物; Ca:P カルシウムリン比; Energy エネルギー

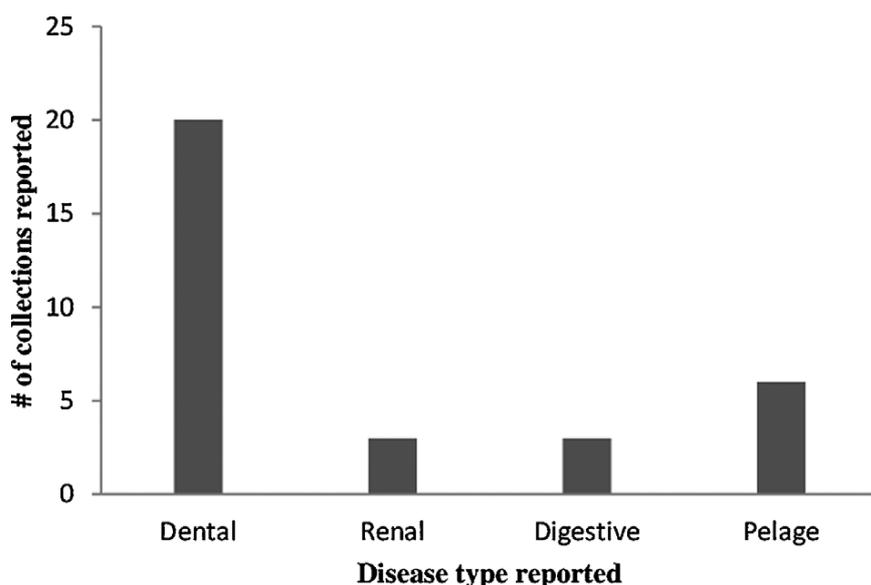


Fig. 1. 世界中の動物園やレスキューセンターより報告されたロリスの健康問題に関する情報で示された、飼育下の個体群における歯科(Dental)疾患の有病率の高さ。結果は質問紙調査の回答に基づく(n=39)。

TABLE 3. 主成分分析の結果。N. pygmaeus の食餌の栄養素の主成分行列を並び替えた。

| Factors | Component | | | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Calcium | 0.953 | 0.070 | -0.064 | -0.089 |
| Ca:P | 0.844 | -0.049 | 0.041 | -0.174 |
| Ash | 0.737 | 0.293 | 0.230 | 0.162 |
| Magnesium | 0.703 | -0.018 | 0.021 | 0.276 |
| Vit D | 0.066 | 0.858 | -0.089 | -0.227 |
| Protein | 0.089 | 0.785 | -0.055 | 0.197 |
| Gum | 0.013 | 0.739 | 0.094 | 0.074 |
| Potassium | -0.085 | 0.126 | 0.873 | -0.012 |
| ADF | 0.224 | -0.17 | 0.818 | -0.045 |
| Nectar | -0.145 | 0.251 | 0.037 | 0.783 |
| Energy | -0.196 | 0.146 | 0.087 | -0.727 |
| Eigenvalue | 2.922 | 2.068 | 1.483 | 1.339 |
| % Variance explained | 26.560 | 18.800 | 13.481 | 12.173 |

ADF 酸性デタージェント繊維（セルロース、ヘミセルロース、リグニンの合計）。値は4つ主成分の各々に組み込まれた因子。太字の値は、因子ごとの負荷量の絶対値が最も大きいもの。

TABLE 4. 餌の栄養素と食品アイテムの割合で歯科疾患発症を説明するロジスティック回帰分析。ゴムの存在の有無のみが有意な予測変数であった。

| Variables | Wald/score | Df | Sig. |
|-----------|------------|----|--------------------|
| Calcium | 1.805 | 1 | 0.179 |
| Vitamin D | 0.091 | 1 | 0.763 |
| Magnesium | 0.040 | 1 | 0.842 |
| Protein | 2.655 | 1 | 0.103 |
| Potassium | 1.369 | 1 | 0.242 |
| ADF | 1.489 | 1 | 0.222 |
| Energy | 1.071 | 1 | 0.301 |
| Gum | 4.281 | 1 | 0.039 ^a |
| Nectar | 0.000 | 1 | 0.998 |

a: 使用された栄養値は食餌の中の乾燥ベースのもの。一方、食餌の中の食品カテゴリの割合は生重要ベース

考察

一般論としては、果実は飼育下にある N. pygmaeus の主食であり、樹液はそうではない。我々の

結果は、果実類の量が多いことは歯科疾患の発症に関連しており、ゴムの欠如もまた、歯科疾患の予測変数であることが示された。歯の問題は健康上の問題の中で最も多く、全施設のうち 51.3%で見られた。Streicher [2004] は果実に富んだ食餌は、飼育下の *N. pygmaeus* の歯の問題を進展させ、齧り取り行為をする機会を与えることは、歯のプラークを取り除いて歯の問題に対抗することを助長する、との仮説を立てた。この推測の妥当性についてはコメントできないものの、我々のデータは、Streicher の仮説の前提を支持している。*Nycticebus* 属は、樹液食のマーモセットである *Callithrix* 属や *Cebuella* 属に類似した、形態学的に特化した適応をしている [Hladik, 1979; Tan and Drake, 2001]。彼らの歯列は、ゴム液の収穫と処理に特に有効である。彼らの切歯と犬歯は、歯櫛を形成して専門化している [Nekaris et al., 2010; Nekaris and Bearder, 2011]。大きく平伏した下顎小白歯もまた、齧り取り行為中に使用され、樹液の湧出を促進するために、他の歯が樹木からリグニンを掘り出せるよう、要の点として機能する [Nekaris et al., 2010]。歯にかかる驚くべき圧力は、年をとった個体に現れる圧力傷に見て取れるが、しかし毎夜齧り取り行為を行う野生のスローロリスでは、歯が壊れたものはほとんど観察されない [Nekaris, 2014]。歯科疾患は、野生のロリスでは報告されたことはない。飼育下の *N. pygmaeus* にゴムを与えることは、歯肉炎の減少に著しい効果があった [Streicher, 2004]。齧り取り行為中に破壊された樹木の形成層と/または、摩擦の源となりプラークを取り除く作用があるかもしれない摂取中の樹木のゴムには、多くの接点がある。飼育下にあるロリスに与えられるゴムは、枝に広げられるか、厚い枝に穿たれたドリル穴に入れられるか、である [Gray et al., 2015]。飼育下にあるスローロリスが、与えられた枝を齧り取るのは一般的ではない。代わりに、木材とは最小限の関わりしか持たずに、ゴムを摂取するのみであることが観察されている。代わりとなる仮説では、ゴムに含まれる多量の植物性の二次代謝産物は、皮と歯の機械的な接触とともに、歯の健康に良い影響がある、というものである [Nussinovitch, 2009]。*Nycticebus pygmaeus* は、昆虫、ガム樹液、花蜜を主に摂取することが観察されている [Starr and Nekaris 2013; Streicher et al., 2013]。果実類は、彼らの食餌中にはわずかな割合しか占めず、野生で仮に果実類を少なからぬ分量摂取するとしても、自然で見つけられる果実類は、動物園やレスキューセンターが与えるものと比べ、かなり異なる化学組成となっている [Oftedal and Allen, 1997; Schwitzer and Kaumanns, 2003]。栽培された果実類は、野生種の果実に比べ、水溶性の炭水化物が多く、タンパク質・繊維質・マクロミネラル は少ない。飼育下にある霊長類の餌における果実類の主たる貢献は、水分と、エネルギーに変換される水溶性の糖分である [Plowman, 2013]。これが多すぎると、歯科疾患の原因となるかもしれない。

う食その他の歯科疾患は、細菌のプラークにより引き起こされることが知られている [Sheiham, 2001]。この黄色のプラークに棲むマイクロフローラは、有機酸を生産し、これが効果的に唾液の pH を下げて歯の表面のエナメル層を侵食し、最終的に象牙質を外部に晒す。この酸性化が、唾液の再石灰化活動を無力化し、感染症に弱い蝕へと繋がる [Meurman and Cate, 1996]。このプラークは、水溶性の炭水化物（糖類やスターチ）が高濃度で持続する場合に、足がかりを作る [Brathall, 1996]。糖類はそれ自体、プラーク基質の生産を拡張させることができ、また問題のある酸産性マイクロフローラを育てることにより有機酸の生産をも促進する [Sheiham, 2001]。発酵性

糖の摂取をしなければ、問題のう蝕は作られない。果実類は、特にう蝕の潜在的な原因として認定されている [Moynihan, 1998]。糖類とリンクした人間の歯科疾患には、う蝕、根面う蝕（感染症に繋がる）、歯肉炎、顔面及び下顎の腫瘍、があり、これら全ては飼育下にあるスローロリスでも見つかっている [Debyser, 1995; Fitch-Snyder and Schulze, 2001; Sheiham, 2001; Fuller et al., 2014]。

齧り取り行為に適応した、特化した歯列と同様に、genus *Nycticebus* は、特化した消化管形態も有する。より短い十二指腸と、比較的長く厚い小腸と盲腸を持つと描写される [Stevens and Hume, 2001]。微生物が生息するこれらの消化管の存在は、植物繊維を、そしておそらくはキチン質すらも分解することのできる微生物叢を、ロリスが有していると推測する理由を与えてくれる。ゴム樹液は、共生関係にある微生物のみが消化できるペクチンやフルクタンといった水溶性の繊維を多量に含む [Nussinovitch, 2009]。もし *Nycticebus* が、繊維を多量に含む食料品目を消化できるよう適応しているのならば、ゴムをロリスの餌に含めないことは、彼らの健康に悪影響を及ぼしうる。*Callithrix* 属や *Cebuella* 属もまた、樹液食の小さな霊長類であり、飼育下では消耗性疾患を患うことが知られている。Gore et al. [2001] は、餌における繊維の欠如が、栄養吸収不全に繋がる腸の炎症を引き起こしていると仮定する。飼育下にあるロリスでは消耗性疾患はまだ観察されていないものの、繊維の存在そのものが、不可欠な生理的プロセスを消化器内で進行させているのかもしれない。低福祉状態に苦しんでいるロリスがやせ衰え、濡れて眼はくぼんだ状態にある事例があるが、しかしながら、飼育が全体的に不適切であるため、これを消耗性疾患だと診断するのは困難である (Nekaris, pers obs)。 *Nycticebus* は比較的厚い咬筋を持つが、齧り取り行為の機会を与えられなければ、飼育下では退化しうる [Starr and Nekaris, 2013]。ロリスは、彼らの縄張り内にあるゴムノキの全ての枝と幹に登り降りして採食行動を取る。もし既に開けられた齧り穴にゴムがあれば、そのゴムを食し、またその穴がゴムを出し続けるよう新しい傷をつけるが、これはガラゴに関して報告されてきたことと類似している [Bearder and Martin, 1980; Nekaris et al., 2010]。新しい齧り穴を作るのは、既存の穴から採食することよりエネルギー的に高価であるため、既存の縄張りの中で新しい齧り穴を作るのはまれである [Vinyard et al., 2009]。実際の齧り取り行為は、歯の健康とはほとんど関係なく、樹液の経口摂取ともっと関係があるのかもしれない。昆虫は、夜中、機会があれば捕獲・摂取され、丸ごと摂取される [Streicher, 2009; Starr and Nekaris, 2013; Streicher et al., 2013]。Streicher et al. [2013] は、野生の *N. pygmaeus* が税関で押収されてリハビリテーションおよび野生への再リリースのためにレスキューセンターへ送られてきた際に、果実類、昆虫類と肉製品で成る餌を与えたが、それらの個体をソフト・リリースすると、多様な食品アイテムを摂食する機会があったのにも関わらず、多くの果実類や肉製品、乳製品より、自然な“野生”タイプの食品アイテムを、遙かに多く選択した。*N. pygmaeus* がゴム樹液と昆虫の摂取・消化に高度に適応しているということには、十分なエビデンスがある。

分析された食餌の栄養素は広範なものであり、これらを統一的に扱うガイドライン群はなかった。Fitch-Snyder and Schulze [2001] は唯一のロリス飼育マニュアルを作成し、もともとはアカゲザル (*Macaca mullatta*) 用に突き止められた、旧世界ザル用の推奨栄養素 [NRC, 2003] を使用することを提案した。これらの推奨は、気まぐれで多様な食性を持つ中型の霊長類のためのものである。

Nycticebus は、食性に関してはその対極にある [Nekaris, 2014]。この推奨がロリスに当てはまるとは、直感的には思えない。ロリスやガラゴ科のようなその近縁種へのエビデンスに基づいた推奨事項は現存しないので、クオリティ・コントロールのようなものもまた重要である。粗蛋白の平均含有量は 19.64%でレンジは 6.7-30.91%であるが、OWM の推奨では 17-28%である [NRC, 2003]。これもまた広いレンジであり、昆虫の多い食餌を取る Nycticebus は、完全に憶測だが、蛋白質を多く必要とすると信じられている。似たような仮説は callitrichid 科に対しても立てられていたが、Mitura et al. [2012]らの、症状が現れたのは高品質の粗蛋白が 6%未満の餌を与えられた callithrix 科のみであることを明らかにした研究によって、誤りであることが判明した。ある長期研究は、粗蛋白が乾燥ベースで 15%の食餌が、生活、正常な繁殖、社会性行動に適していることを示した [Flurer and Zucker, 1985]。カルシウムは、callitrichid 科のような小型の昆虫食の霊長類にとっては、制限栄養素だとしばしば考えられている [Smith, 2000]。N. pygmaeus の食餌におけるカルシウム量の平均は 0.55%で、レンジは 0.04-1.04%である。OWM の推奨でも偶然、0.55%である [NRC, 2003]。ジェルや粉末を使用したコオロギによるガットローディング、昆虫へのミネラルのダスティング、果実へのミネラルサプリメントの塗布といった複数の補助食や、濃縮食の存在は、ミネラルが豊富に濃縮されて与えられる状態を確保する。ゴムは、濃縮食や補助食を入手できない施設にとっては、ますます重要となる。野生のゴムに含まれるカルシウムは、昆虫に高く濃縮されているリンの相殺を自然に支援する [Bearder and Martin, 1980; Heymann and Smith, 1999]。カルシウムは、幾つかの昆虫のキチン質の外骨格に含まれるものの、Nycticebus が有効な量のキチン質を消化できるのかは、まだ確定していない。確かに N. coucang の胃粘膜がキチン分解酵素を含むことは報告されているが、これらの酵素の出处や有効性についての情報は得られていない (Stevens and Hume 1995)。野生での callitrichid 科の研究は、しばしば個体が、昆虫を摂取する前に、羽や足といった、最もキチン質に富む部分を取り除くことを報告している [Heymann and Smith, 1999]。これは昆虫を丸ごと摂取する野生の Nycticebus には当てはまらず、エネルギーかつ/またはカルシウム源として、キチン質を活用している可能性もあることを示唆している [Starr and Nekaris, 2013]。保護下で生まれ育った個体には、摂取する前に、幾種かの昆虫の羽を取り除くものがあるかもしれないが、我々は野生タイプのものを”ゴールデン・スタンダード”だと見なしている。N. pygmaeus には、単一種のコオロギまたはミールワームよりも、多様な昆虫を与えるべきであるが、これは、1 週間、異なる栄養分を与えることは、摂取および吸収したもののバランスをとることに繋がる可能性があるからである。野生の Nycticebus は、特化した食品カテゴリのリストから栄養素を摂取しており、保護下の食餌もその事実を反映すべきである。

飼育の面では、質問紙調査の結果は、現状の N. pygmaeus 飼育の実践に関する、幾つかの洞察を投げかけた。野生の N. pygmaeus は、彼らの活動予算の大部分を摂食行為に割り当てる [Starr and Nekaris 2013]。餌が 1 日 1 回与えられた場合、簡単に摂取できる食餌の摂取は活動時間の約 10%を占めると推定され、異常行動パターンを呈するための時間が増加する [Cabana and Plowman, 2014]。回収された質問紙は、飼育施設の大部分が、スローロリスを 1 日 1 回給餌していることを示した。野生下と飼育下での採食時間の大きな不一致があるため、我々はこれは不適切だ

と考えており、1日当たり2回以上の給餌を推奨したい。ゴムの供与も、摂食時間をかなり延長する [Fitch-Snyder and Schulze, 2001; Cabana and Plowman, 2014; Gray et al., 2015]。給餌にボウルや皿が使用されているとの報告は 92.3%以上の飼育施設からあった。理想的には、自然な採食行動を刺激できるようにするため、不均一でランダムな餌の配置の促進できるよう、飼育設備の中に多数のボウルがあることが望ましい [Montaudouin and Le Pape, 2005]。食餌のバリエーションの面では、Streicher [2004] と Starr and Nekaris [2013]の両者が、野生の *N. pygmaeus* の食餌には、体重の増加や減少の期間を伴った、季節性の影響が非常に大きかったと報告した。飼育下でこれらの変化を模倣する影響は、まだ定量化されていないため、現時点ではその適用を推奨または引き止めるつもりはない。

飼育下の野生動物に理想的な餌を作ることは、特に特化した種にとって、困難でありうる。野生の食餌を再現することは難しいが、野生の餌に含まれる栄養素を再現するのは可能である。もしかすると、栄養素は食餌の作成における構造的フレームワークとして使用され、特有の食品は野生での食品アイテムとできるだけ近くなるよう選ばれるべきであるのかもしれない [Clauss et al., 2008]。もし飼育施設が十分に多様な昆虫を供与できないのであれば、この食品カテゴリの一部代替は、ペレットや卵、缶詰のような、栄養素が高度に濃縮された食品を使用することにより、達成可能である。昆虫は、高カルシウム昆虫食としてガットローディングされるべきである。花蜜は、少量の希釈したジュースや鳥類用の花蜜パウダーを用い、糖類の濃度のレンジが 22-30% (pers. obs) となるよう調整することにより、簡単に代替できる。食餌がエネルギー不足とならぬよう、そして食物繊維のソースとして、野菜を含めるのも可能である。ゴム樹液は、水溶性繊維、高いカルシウムリン比、二次代謝産物カクテルという、固有の化学組成を有するため、より代替が難しい [Smith, 2000, 2010]。幸運なことに、*Acacia senegalensis* から採取されるアラビアゴムは、食品および化粧品業界で使用されているため、多くの国で、生または精製された状態で手に入る。購入が難しい熱帯の諸国では、ゴムは、様々なテクニックを使って現地で樹木から採取が可能である [Nussinovitch, 2009]。Cabana and Plowman [2014]によって示されたように、ゴム、花蜜、昆虫、野菜といった野生タイプの食餌は、口にあうと同時に栄養的に適切でありうる。

結論

1. 経験に基づいたエビデンスではなく逸話が、飼育下にある *N. pygmaeus* の餌を形作る基礎となってきた。
2. ガイドラインと栄養素の推奨の明らかな欠如により、現状のロリス用の栄養は、自然な摂食の生態・形態・生理を反映していない。
3. 飼育下の餌は一般的に果実の割合が多く、ロリスが利用し摂取し消化するよう進化してきた樹液の割合が低い。この食料源を供与しないことは、重大な健康上の結果をもたらしかねない。
4. 推奨されるべき栄養素を特定し妥当性を検討する必要がある。特化した消化能力についても、特に水溶性繊維と昆虫のキチン質に対するものについて、分析する必要がある。

5. 食餌における果実類の存在およびゴムの欠如と、歯科疾患の発症の間の因果関係が特定された。飼育用餌は果実類に頼るべきではなく、代わりにアラビアゴムや多様な昆虫をベースとすべきである。

謝辞

Longleat Safari and Adventure Park, Whitley Wildlife Conservation Trust, Primate Society of Great Britain, および International Primatological Society に感謝を捧げる。Captive Care Working party, Nacey Maggioncalda Foundation, University's Federation for Animal Welfare, Disney Worldwide Conservation Fund, Columbus Zoo, Phoenix Zoo, Cleveland Zoo and Zoo Society, Shaldon Wildlife Trust, Shepreth Wildlife Park, Sophie Danforth Foundation, Conservation International Primate Action Fund, そして Mazuri Zoo Feeds による、本研究の様々な要素に対する支援を感謝する。また AZA および EAZA Prosimian TAGs にも支援を感謝する。我々の質問紙に回答を寄せた全ての飼育施設や、助言をいただいた D. Whitton, G. Donati, E. Dierenfeld, および A. Plowman にも感謝する。また、匿名のレビュアー2名にも、かれらのコメントに感謝を述べたい。