



「獲得形質は遺伝する」の再考

浦島 匡¹, 峯口 祐里², 向井 孝夫³

(¹帯広畜産大学名誉教授, ²帯広畜産大学大学院修士課程卒, ³北里大学獣医学部教授)

はじめに

著者の一人、浦島は日本酪農科学会の発行するジャーナル「ミルクサイエンス」の「ミルクサイエンスのヘウレーカ」コーナーに、「科学にバイアスは禁物」というエッセイを投稿したところ、編集長の向井孝夫先生（著者の一人）から大変に興味をもっていただいた。先日札幌の紀伊國屋書店に行った際に、「日本のルイセンコ論争」（中村禎里著、みすず書房）という本が積まれているのを発見し、購入して読んだ。メンデル・モーガン遺伝学に対抗して、ソ連のルイセンコらによって唱えられた「獲得形質は遺伝する」というイデオロギーがらみの学説について書かれた本であるが、浦島が東京農工大学農学部に入學した頃（1975年）、教養部の生物学の講義で「琵琶湖の鮎の環境への適応進化」を材料として、その学説を肯定するような授業があったことを思い出した。浦島は大学院では東北大学農学研究科に進学したが、同じキャンパスの1階下にある家畜育種学教室が、農家での実践経験も踏まえての肉牛の改良研究から、「獲得形質は遺伝する」ことを支持していたようだ。2つの教室の先生がたはどちらも観察に基づく現象論から同学説を支持して、教条的なイデオロギーからのバイアスがかかったものとは異なるものと思う。獲得形質の遺伝は、世界的に非科学的なものとしていったんは退けられたが、近年エピジェネティクスに基づく研究から、それを示すような証拠が蓄積されてきている。エピジェネティクス研究はルイセンコ学派とは別物のようだが、以前の上のような観察結果から支持された「獲得形質の遺伝」現象は、DNAのメチル化やDNAが巻き付いたヒストンタンパク質のアセチル化が引き起こすエピジェネティクスによって説明づけられるかもしれない。

エピジェネティクスとは何か

エピジェネティクスについて、さっそく本「遺伝子のスイッチ」（生田 哲著、東洋経済新聞社）を購入して勉強してみた。二重螺旋構造をもったDNAは、4種類のヒストンというタンパク質が2個ずつ、合計8個集まったヒストンオクタマーに2回巻き付いてヌクレオソームを形成している。ヌクレオソームとヌクレオソームのあいだにあるDNAに、リンカーというタンパク質が結合してクロマチンという単位を形成しているが、それがぎゅうぎゅうに詰まったような形で細胞の中の核に収納されている。クロマチンには、ヌクレオソームがゆるく詰まった非凝集クロマチンと密に詰まった凝集クロマチンがある（図1）。非凝集クロマチンのDNAのプロモーター領域にRNAポリメラーゼが結合し、プロモーターのDNAが一部分ほどけて1本鎖になり、そこからDNAに相補的なRNAが作られて転写が開始される。つまり凝集クロマチンは遺伝子の発現オフ、非凝集クロマチンはオンの状態であるが、DNAのシトシンがメチル化されると凝集クロマチンになり、ヒストンタンパク質がアセチル化されると非凝集クロマチンとなる。DNAメチル化酵素とヒストンアセチル化酵素の活性調節によって

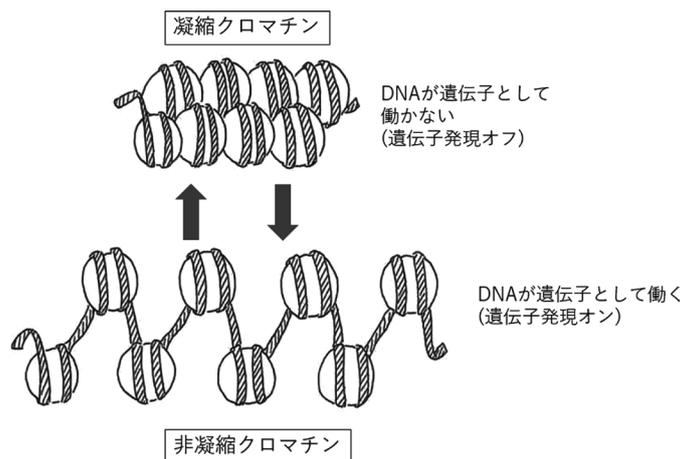


図1 凝集クロマチン vs 非凝集クロマチン (とことんやさしい遺伝子のしくみ, 生田 哲著, SB クリエイティブ, 2014年)

遺伝子の発現がオンになったりオフになったりするが、それらの酵素活性の発現調節に食事内容を含めた環境要因が大きくかかわってくる。そのように環境によって遺伝子の発現が影響され、「獲得形質の遺伝」につながる分子生物学的な基盤である。エピジェネティクスとは、DNAメチル化やヒストン修飾など、DNA塩基配列の変化を伴うことなく遺伝子発現を調節する機構を学問する領域を指す。

親の受けた環境要因によって子の生理が大きく影響を受けた例として、第二次大戦中にナチによって占領され、食糧難から低栄養状態に陥ったオランダの例がよく知られている。オランダの飢餓（1944年11月～1945年5月）の期間、妊娠中であった女性から生まれた子は大人になってから心臓病、糖尿病、心の病などの生活習慣病が多発した。1990年代に、オランダの飢餓の冬を乗り越えた数千人からの血液サンプルと飢餓の前後に誕生した彼らの兄弟姉妹の血液サンプルが分析され、過体重の人にはPIM3という遺伝子に共通してメチル基のついていることが発見された。栄養不足に陥った母の胎児のPIM3遺伝子にメチル基が付加されることによって、脂肪を燃やすタンパク質に指令するPIM3遺伝子の働きが抑制され、それが生涯続いたようだ。

うつマウスの作製とエピジェネティクス

話は少し飛ぶが、浦島は2023年7月下旬に放映されたNHK BS番組「ヒューマニエンス・乳、進化する神秘的液体」に出演した。番組ディレクターからの依頼で、ヒトの母乳成分が乳児の脳発達に及ぼす影響についてのコメントを求められた。人乳と牛乳の成分組成を比較した場合、糖質濃度は人乳の方が高く、タンパク質濃度は牛乳の方が高い。そのため、ヒトの母乳に多いラクトースが乳児の脳発達に影響しているとよく説明づけされている。それも一つの要因ではあるが、ミルクの糖質濃度に限れば、ヒト、チンパンジー、ゴリラ、オランウータン、アカゲザル、マーモセット、オマキザルのミルクにその差があるわけではない。そこで「ヒト乳の糖質の中で20%を占めるミルクオリゴ糖の中で、N-アセチルノイラミン酸を含む酸性オリゴ糖に母乳栄養児の脳発達に役割があるのではないか。」とコメントした。（ヒト乳の糖質の80%を、ラクトースが占めている。）

N-アセチルノイラミン酸を含むミルクオリゴ糖摂取による脳神経系への活性化効果は、様々な動物実験から証明されている。それにはエピジェネティクスとの関わりが予想されるが、まずうつマウスの作製について述べる。凶暴なマウスと小柄なマウスを同じケージに入れ、5分間攻撃させる。その後、小柄なマウスを透明な仕切り板の反対側に移動させて24時間放置する。両者は直接接触できないが、対面する。この作業を10日間続けると、小柄なマウスは不安になり、従順に振る舞うようになる。このよううつマウスの側坐核のドーパミン遺伝

子を調べたところ、ヒストン修飾が起り、ヒストンタンパク質のアセチル基が減少していた。また同様に作製したうつラットに電気けいれん療法を行ったところ、うつが改善しBDNF（脳由来神経栄養因子）が増えたが、BDNF 遺伝子のプロモーターのヒストンが顕著にアセチル化されていた。

作製したうつマウスに、シアル酸を含むミルクオリゴ糖を摂取させたところ、不安様行動の改善を示した報告例もある¹⁾。3匹のマウスを一つのケージに入れ、1週間1日に2時間攻撃マウスをケージに入れた。ついで攻撃マウスを除いた後に、ケージの隅での縮こまりなど不安行動を観察した。1週間マウスはヒト乳にも含まれる6'-シアリルラクトース（6'-SL）また3'-シアリルラクトース（3'-SL）を含む食餌か、それを含まないコントロール食餌を摂取させ、両群間での不安様行動を観察・比較した。マウスの行動パターンを図2Dに示した。左上は攻撃マウスを入れないでコントロール食を摂取させたパターンであるが、攻撃マウスに曝露するとケージの隅での縮こまり行動が観察される（図2D右上）。一方、6'-SLまた3'-SLを摂取させた場合、図2Dの左下と右下のようにケージ隅での縮こまり行動は改善された。マウスがケージの中央で過ごした時間の長さや全体をパトロールした距離を測定すると、攻撃マウスに曝露したコントロール食摂取群の場合、非曝露群よりも中央で過ごした時間は短縮し、パトロール距離は低下したが、6'-SLまた3'-SLを摂取させた群では、それらは改善していた（図2A, C）。これはN-アセチルノイラミン酸を含むオリゴ糖の摂取が脳機能に影響を及ぼした例の一つであり、うつによって低下したドーパミン遺伝子またはBDNF 遺伝子の発現を高めたことによる結果かもしれない。攻撃マウ

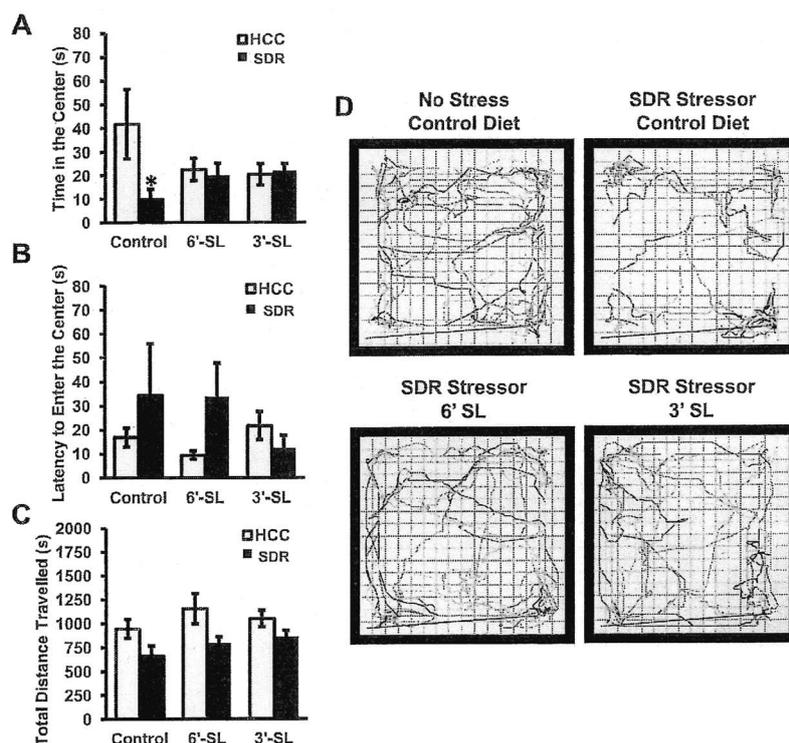


図2 攻撃マウスによる曝露と6'-SLまた3'-SLを摂取によるケージの中でのマウスの行動変化

- 左上D コントロール食摂取, 攻撃マウスによる曝露なし
- 右上D コントロール食摂取, 攻撃マウスによる曝露あり
- 左下D 6'-SL摂取, 攻撃マウスによる曝露あり
- 右下D 3'-SL摂取, 攻撃マウスによる曝露あり
- A マウスがケージの中心で過ごした時間
- B マウスがケージの隅から中心に行くまでの時間の遅れ
- C マウスがケージ全体をパトロールした距離

A. J. Tarr ら, Brain Behav. Immun. 50, 166, 2015, Fig. 6 より転用

スへの曝露によって作製したうつマウスの血清で、コルチコステロンのレベルが上昇することは知られているが、この研究において6'-SL また3'-SL の摂取によってその濃度に有意な影響はなかったようだ。6'-SL また3'-SL の摂取がどの様にしてそれらの遺伝子発現のスイッチを押したのか不明であるが、それらの食餌成分がエピジェネティックな変化に影響を及ぼした可能性はある。あるいは、SL の摂取によってマウスの腸内フローラが変化し、腸内細菌の代謝物が迷走神経をへた腸-脳相関によって脳組織に伝わり、エピジェネティックな効果をもたらしたかもしれない。

シアリルラクトースの摂取が脳機能に及ぼす影響

他にも、シアリルラクトースの摂取が脳の構造や機能に影響を及ぼしたことを示す、動物実験報告はある。ピッグレットに3'-SL また6'-SL を21日間摂取させた後に、脳組織を回収して、大脳皮質、小脳、脳梁、海馬のシアル酸濃度を測定すると、コントロール食を摂取させた場合よりも小脳におけるガングリオシドレベルが3'-SL の摂取によって、脳梁での全シアル酸レベルが3'-SL また6'-SL の摂取によって上昇していた²⁾。また、シアリルラクトース(3'-SL + 6'-SL)を摂取させたピッグレットを核磁気共鳴イメージング装置(MRI)にかけると、コントロール食を摂取させた場合よりも脳梁と左海馬の容積が少し拡大していた³⁾。一方、6'-SL 合成遺伝子をノックアウトし、母乳に6'-SL が分泌されないように遺伝子操作したマウスから生まれてくる子と、遺伝子操作していない野生型マウスから生まれてくる子を交換し、交差養育させた⁴⁾。ついで、タスク実験を行ってそれぞれの子の認知・空間メモリー、注意能力、粘り強い行動、感覚運動ゲートなどの行動を観察すると、野生型の母マウスから生まれ6'-SL を分泌しない代理母の母乳を摂取したマウスに、離乳後の新規対象探索能力、注意能力、空間認識メモリー能力の低下が観察された。これらの研究から、シアリルラクトースの摂取が乳子の脳の構造に影響を及ぼし、認知能力を高めたことが示唆される。それはどのようなメカニズムによるのであろうか。シアリルラクトースの摂取によって吸収されたN-アセチルノイラミン酸が血液脳関門を超え、脳のシアル酸を含むガングリオシドや糖タンパク質の合成に利用されたとは考えにくい。N-アセチルノイラミン酸から肝臓で一旦代謝されてできた物質が脳関門を超え、それらの合成材料として利用されたのであろうか。あるいはメカニズムはわからないが、ヒストンのアセチル化が促進されたことにより、シアル酸を含む糖鎖の生合成スイッチがオンになったのであろうか。このような結果にも、エピジェネティクスが関わっているかもしれない。今後、シアリルラクトースに限らず食品成分の摂取によるエピジェネティックな変化は、大きな研究対象となっていくであろう。

母への刺激がN-アセチルノイラミン酸の関与するメカニズムによって、子の脳活動に影響を及ぼした観察結果もある。小山幸子先生(インディアナ大学)は、SBT というオスフェロモンにメスを1週間曝露した後にオスとつがえさせ、その後子を出産させた⁵⁾。オスフェロモンに曝露したメスとしなかったメス、それぞれから出生した子に水泳学習を実施して学習スコアを比較するとともに、各々の母乳の中に含まれるN-アセチルノイラミン酸濃度を測定した。その結果、SBT に曝露したメスの母乳のN-アセチルノイラミン酸が高く、子の学習行動スコアも母へのSBT 曝露の方が高かった。一方、子の脳におけるポリシアリルトランスフェラーゼの発現レベルが母へのSBT 曝露で高かったことから、オスフェロモンへの曝露によって母乳中N-アセチルノイラミン酸濃度が高まり、その影響によって子の脳のポリシアル酸を結合する糖タンパク質レベルが高まるとともに、子への学習行動改善に効果したことが予想される。親への刺激が世代を超えて子の生理に影響したエピジェネティクスの好例といえるのではないか。母乳に含まれるシアリル糖鎖の摂取が、どのようにポリシアリルトランスフェラーゼ遺伝子の発現を上昇したか不明であるが、上のうつ状態改善同様にエピジェネティックな変化を刺激したことが予想される。

哺乳動物の乳成分組成の変動

このように食餌成分を含めた環境要因は、動物の生理に強く影響する。哺乳動物の乳成分組成は種によって大きく変動するが、筆者は多くの動物の乳成分組成の調節にも、生息環境からの刺激によるエピジェネティックなメカニズムがあると予想している。海洋、極地、砂漠乾燥地のような極限環境への進出には、乳成分組成の環境への適応・変動が深く関係し、哺乳類の成功への大きな要因となった。乳成分組成の変動は、妊娠期間と泌乳期間の長さや1回の分娩あたりに出産する子の頭数などの動物の繁殖戦略と密接に関係する。乳成分による1グラムあたりのカロリーは、脂質は9.11キロカロリー、タンパク質は5.86キロカロリー、糖質が3.95キロカロリーである。つまり、脂質の濃度の高いミルクほど高エネルギー（濃いミルク）である。

各種哺乳動物の乳成分組成を表1に示した。高エネルギーの濃いミルクを出す動物の代表は、アザラシ、オットセイ、クジラなど海洋環境に生息する種である。たとえば泌乳期間があらゆる哺乳動物の中でもっとも短い（4日）ズキンアザラシの乳成分組成は、脂質61%、タンパク質4.7%、糖質1.1%⁶⁾、またバンドウイルカの後期乳では、脂質16.6%、タンパク質10.5%、糖質1.1%であった⁷⁾。これは典型的な高脂質・低糖質乳の例であるが、海洋環境という過酷な生息条件において、子の体温維持のため、急速に皮下脂肪を蓄積させることへの必要が乳の高脂質となった要因であろう。アザラシの場合は、母獣が絶食中に泌乳することもその要因の一つである⁸⁾。陸棲の動物の中で濃いミルクを出す代表はウサギで、乳成分組成はアナウサギでは、脂質13.3%、タンパク質13.9%、糖質2.1%、ケープノウサギでは脂質14.8%、タンパク質10.3%、糖質1.6%であった。ウサギは未熟な新生子を多頭出産するが、その後子の成長は早い、母乳のタンパク質の濃度の高いことが、早い成長速度と関係している。

一方、薄いミルクを出す代表はサイである。乳成分組成はクロサイでは脂質0.56%、タンパク質1.59%、糖質7.05%、シロサイでは脂質0.42%、タンパク質0.96%、糖質6.86%である⁹⁾。極めてエネルギーの低いミルクであるが、暑い乾燥した生息地域で、子の体温を冷やすための水分補給源としてのミルクの役割が予想される。低エネルギーでも子の成長を補償するための、1日の授乳回数やミルクの摂取量に興味もたれる。また、薄いミルクをだす動物として、テナガザル、オランウータン、ゴリラ、ボノボ、チンパンジーなど類人猿があげられる。たとえば、乳成分組成はカンムリテナガザルでは、脂質0.8%、タンパク質0.9%、糖質8%、ボルネオオランウータンでは脂質2.2%、タンパク質0.7%、糖質7.4%、ニシゴリラでは脂質1.5%、タンパク質1.2%、糖質7.2%、ボ

表1 哺乳動物の乳成分組成

(乳とその加工, 足立 達, 伊藤敏敏著, 1987年, 建帛社, 表24より転用)

動物種	水分	全固形分	脂肪	タンパク質	糖質	灰分	子の体重が2倍になるまでの日数
ウシ	88.6	11.4	3.3	2.9	4.5	0.7	47
ヒト	88.0	12.0	3.5	1.1	7.2	0.2	180
サル	87.83	12.17	3.98	2.09	5.89	0.26	
ウマ	91.05	8.95	1.25	2.13	6.26	0.38	60
ヤギ	87.81	12.19	3.72	3.30	4.25	0.80	22
ヒツジ	83.47	16.53	5.97	5.62	4.22	0.85	15
ウサギ	68.71	31.29	15.95	11.01	2.37	1.97	6.5
ネコ	75.02	24.98	7.61	12.24	3.61	1.05	9.5
イヌ	78.42	21.58	8.64	7.42	4.07	1.20	9
ブタ	79.96	20.04	7.61	5.91	4.79	0.86	14
クジラ	48.33	51.67	34.79	13.56	1.77	1.55	
アザラシ	32.30	67.70	53.2	11.2	2.6	0.7	
シロクマ	57.10	42.90	31.0	10.2	0.5	1.2	

ノボでは脂質 1.1%, タンパク質 1.0%, 糖質 8.2%, チンパンジーでは脂質 2.2%, タンパク質 0.9%, 糖質 7.4% であった¹⁰⁾。これらは通常 1 子を出産し、泌乳期が長く（ゴリラ 5 年、オランウータン 8 年、チンパンジー 5 年）、低エネルギーミルクの摂取によって子をゆっくりと育てる。泌乳期間の長いものほど乳タンパク質の濃度は低い。

子育て方法の違いが乳成分組成に及ぼす影響

霊長目を対象に、母の子育ての方法が乳成分組成の変動に影響する例も報告されている¹¹⁾。チンパンジー、ゴリラ、ニホンザルにみられるように、多くの霊長目の子育ては母親が乳子を抱っこして、子の求めに応じていつでも授乳できるような方法である。これをキャリーイング（連れ去り型）という。一方、曲鼻猿（原猿亜目）に分類される動物には、キャリーイングを行う種（ワオキツネザル、クロキツネザル、アカハラキツネザルなど）と、子を巣に置き時々戻ってきて授乳させる種（オオガラゴ、アカスレンダーロリス、エリマキキツネザルなど）がいる。後者の子育てをパーキング（置き去り型）という。乳成分組成は両者で大きく異なり、パーキングを行う種のミルクはキャリーイングを行う種よりも濃い、例えばパーキングのオオガラゴでは、脂質 8%, タンパク質 4.8%, 糖質 4.4%, アカスレンダーロリスでは脂質 7.9%, タンパク質 4%, 糖質 7.1% であるが、キャリーイングのワオキツネザルでは脂質 1.9%, タンパク質 2%, 糖質 8.1%, クロキツネザルでは脂質 1.1%, タンパク質 1.5%, 糖質 8.4% である（図 3 参照）。キツネザルにはパーキングを行う種もあるが、エリマキキツネザルのミルク（脂質 3.2%, タンパク質 4.2%, 糖質 7.7%）はキャリーイングを行う他のキツネザルのミルクよりも濃い。子育て方法の違いから、1 日あたりの授乳回数に違いがあることが予想されるが、パーキングとキャリーイングの乳成分組成の違いはそれと関係するのであろう。どちらの子育て方法をとるか、生息する環境や捕食者などの要因にも影響されることが予想され、子育て行動による乳成分組成の変動は実に興味深い。

母の子育て行動の違いが乳成分組成に影響するもう一つの例として、アフリカウシ科動物のハイダー（子を茂みなどに隠し、時々戻ってきて授乳させる）とフォロワー（出生後の子はまもなく立ち上がり、母について行動する）による違いも観察されている¹²⁾。フォロワーの授乳回数の多いことが、当然に予想される。ハイダーのエランド（脂質 6.8%, タンパク質 8.8%, 糖質 5.1%）、ボンゴ（脂質 12.3%, タンパク質 10.6%, 糖質 3.6%）、グレートクーズー（脂質 6.1%, タンパク質 6.8%, 糖質 4.2%）、フォロワーのオジロヌー（脂質 5.5%, タンパク質 4.3%, 糖質 5.0%）、プレスボック（脂質 8.6%, タンパク質 5.6%, 糖質 5.3%）、スプリングボック（脂質 14.5%, タンパク質 7.4%, 糖質 4.2%）では、ミルクの成長エネルギーに占めるタンパク質の割合に違いがある。新生子はハイダーの方がフォロワーよりも未熟な状態で生まれるため、骨格の成長のためにタンパク質をより必要とするのであろう。

最近読んだ本「ヒトの原点を考える」（東京大学出版会）の中で、著者の長谷川眞理子先生が面白い話題を提供された。類人猿や旧世界ザル（アカゲザル、マントヒヒなど）には体毛があり、乳子は母の毛につかまることができるが、ヒトは体毛を失った。乳児は母につかまることができないので、母は我が子を抱えて生活しながら、ベッドに寝かしつけるようになった。つまり多くの霊長類のような完全なキャリーイングではなく、ややパーキングの部分もあるということであろう。乳児の面倒を母が 100% することはできないので、おばあさんも孫の世話に参加するとのことだ。ヒトと類人猿の乳成分組成を比較してみると、ヒトでは脂質 3.5%, タンパク質 1.1%, 糖質 7.2% に対し、チンパンジーでは脂質 2.2%, タンパク質 0.9%, 糖質 7.4%, ゴリラでは脂質 1.5%, タンパク質 1.2%, 糖質 7.2% であって、ヒトの方が脂質濃度は少し高い。これは上のような、子育て方法の違いと関係するのであろうか。

少し妄想するが、キャリーイングとパーキング、どちらが母親の愛情が深いかという点、キャリーイングの方

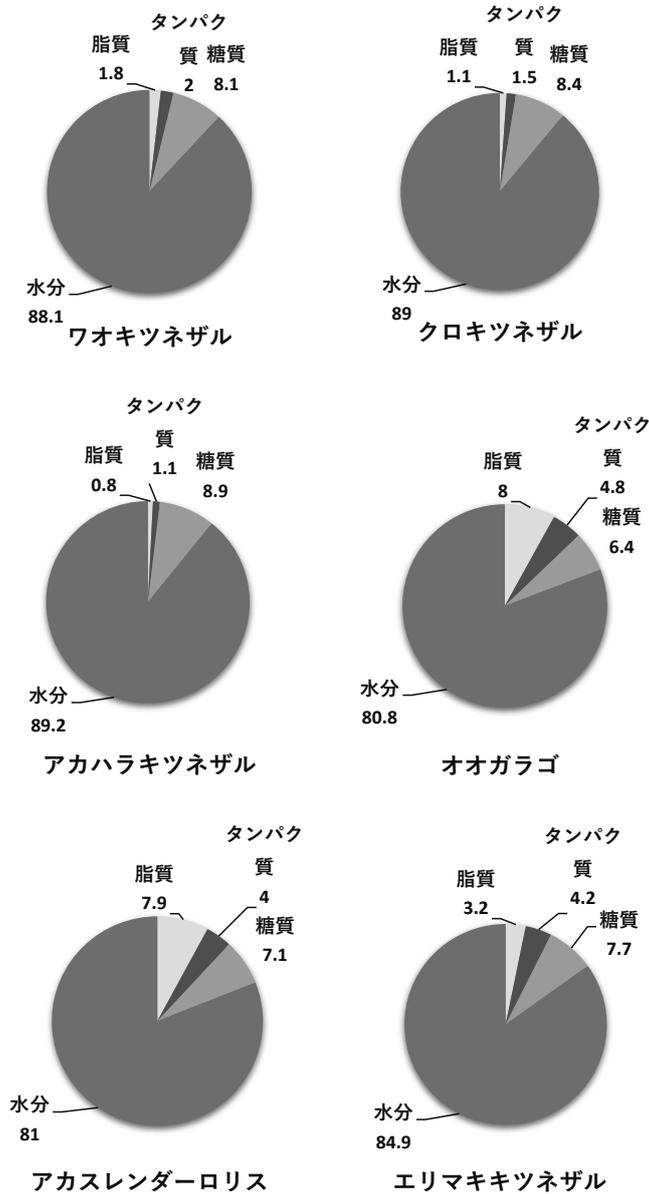


図3 曲鼻猿（原猿亜目）におけるキャリーイングとパーキング動物の乳成分組成の円グラフ

が深いのではなかろうか。母の愛情の深さが、子の認知行動や健康に及ぼす影響は、ラットを使用した動物実験によって観察されている。子を舐めたり、毛繕いする回数の多い面倒見のよい母ラットによって育てられた子と、それらの回数の少ない母ラットにより育てられた子の認知行動や健康・寿命を比較したところ、面倒見のよい母に育てられた子の方が認知スコアは高く、健康で寿命も長かった。それぞれの子の脳領域のコルチゾール受容体遺伝子を分析すると、愛情深く育てられた子のDNAメチル化は低く、ヒストンのアセチル基数は多くて、ここでもエピジェネティクスが関わっていた。キャリーイングする動物の子はパーキングする動物の子よりも認知能が高く、社会的でかつ健康なのであろうか。もしかすると曲鼻猿以外の霊長目の脳の発達には、キャリーイングという子育て方法が好影響をもたらしたかもしれない。類人猿よりも少しパーキングの部分のあるヒトにとっては、児の健全な発達におばあさん（最近ではお父さんやおじいさん）による愛情が欠かせない。

エピジェネティクスは乳成分組成の変動に影響するか

哺乳類の乳成分組成の変動は、泌乳期乳腺細胞内での脂質生合成系、タンパク質生合成系、糖質生合成系の制御によってもたらされる。例えば主要な糖質であるラクトースの生合成は、 β 4 ガラクトシルトランスフェラーゼ1とともにミルクタンパク質の一種 α -ラクトアルブミンとの共同作用によって行われる。ラクトースの生合成の速度、つまり乳の中のラクトースの濃度は α -ラクトアルブミンの発現量によって決まる。それらの生合成は、関わる遺伝子のスイッチのオンとオフによって制御される。生息環境が乳成分合成の遺伝子のスイッチのオンとオフに及ぼす影響は、まったくわかっていないが、例えば α -ラクトアルブミンの転写に関わる転写因子タンパク質のヒストンのアセチル化するあるいはDNAのメチル化というような要因があるに違いない。

終わりに

このエッセイはエピジェネティクスをキーワードとして、シアリルラクトースを例として摂取する食事成分による変化や、哺乳類の乳成分組成に及ぼす環境からの影響について妄想してみた。このような視点によって、食品科学や乳科学に新しい境地が開かれることを願っている。もちろん食品成分や環境要因が、ヒストンのアセチル化するあるいはDNAのメチル化に及ぼしているようなエビデンスを見つけることが求められる。このようなケースとして、例えば、① 母親の栄養状態が新生児の脂質合成遺伝子の発現制御に関わる¹³⁾、② 妊婦が地中海食を摂っていると、臍帯血のある部分のタンパク質の発現に関わる遺伝子DNAがメチル化を受ける¹⁴⁾、③ 重度の肥満患者への短期間のカロリー介入により、肥満に関連するDNAメチル化が部分的に回復する¹⁵⁾、などが挙げられる。大学や研究機関の中に、食品科学、栄養科学、畜産科学分野の残されたフロンティアであるエピジェネティクスを軸にして、新たな研究・教育組織を立ち上げてほしいのではなかろうか。

なお、「日本酪農科学会創立75周年（令和08年度）事業」の一環で、後世（今後の研究者たち）に続いていただきたい、読んでもらいたいミルクサイエンスのハウレーカを取りまとめているので、乞うご期待ください。

文 献

1. A.J. Tarr ら, *Brain Behav. Immun.*, 50, 166 (2015)
2. S.K. Jacobi ら, *J. Nutr.* 146, 200 (2016)
3. A.T. Mudd ら, *Nutrients* 9, 1297 (2017)
4. I. Hauser ら, *Molecular Psychiatry*, 26, 2854 (2021)
5. S. Koyama ら, *Proc. R. Soc. B* 282, 1074 (2015)
6. O.T. Oftedal ら, *Can. J. Zool.* 66, 318 (1988)
7. W.L. West ら, *J. Zool.*, 273, 148 (2007)
8. O.T. Oftedal, *J. Dairy Sci.*, 76, 3234 (1993)
9. G. Osthoff ら, *Zoo Biol.*, 40, 417 (2021)
10. G.E. Blomquist ら, *BioRxiv.* (2017) <http://doi.org/10.1101/197004>
11. C.D. Tilden and O.T. Oftedal, *Am. J. Primatol.* 41, 195 (1997)
12. C. Petzinger ら, *Zoo Biol.*, 33, 305 (2014)
13. T. Ehara ら, *Diabetes*, 61, 2442 (2012)
14. L.K. Küpers ら, *Epigenetics*, 17, 1419 (2022)
15. C.F. Nicoletti ら, *Eur. J. Clin. Nutr.* 74, 1345 (2020)