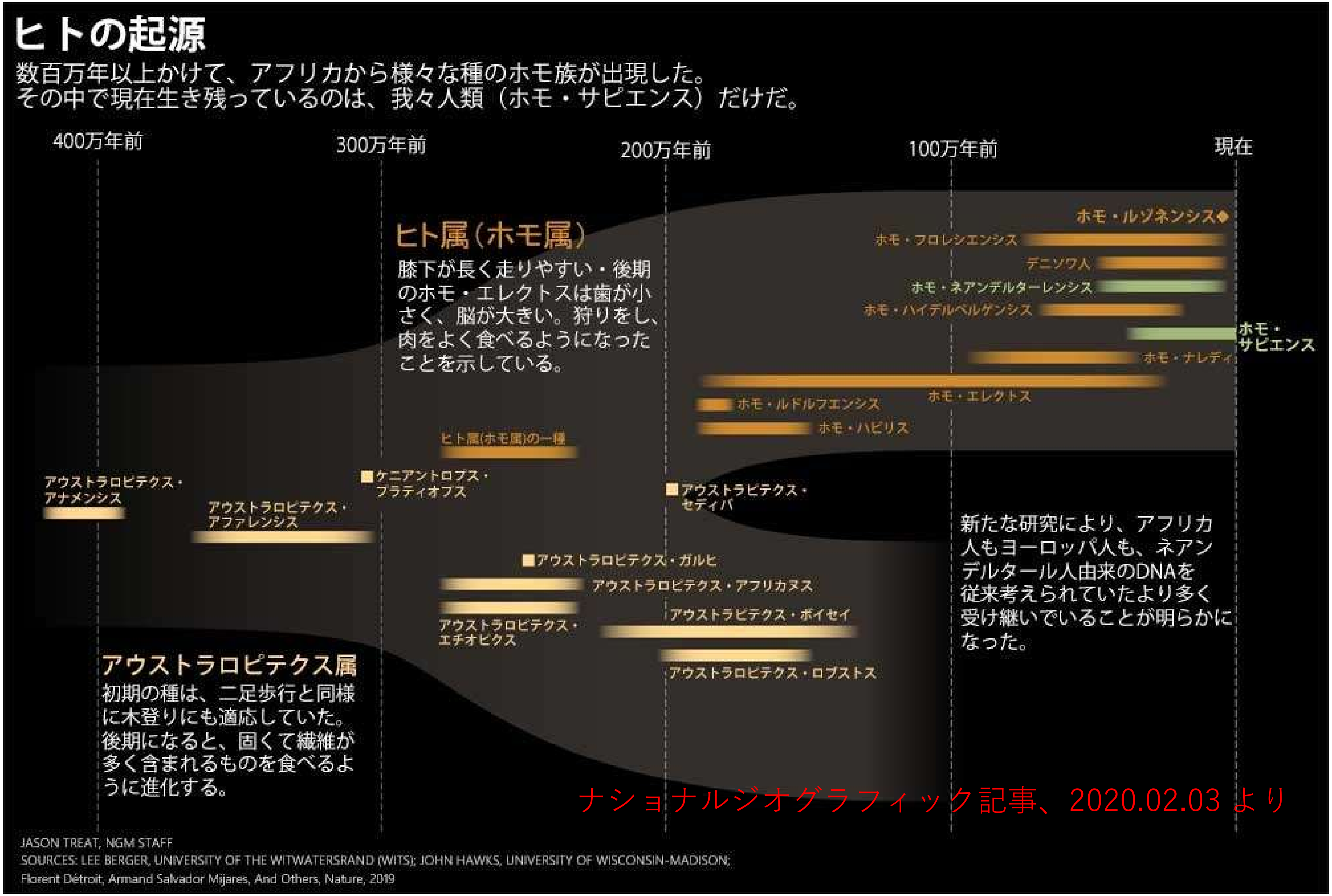
運動しなければならない進化上の理由

H.ポンツァー
（デューク大学）

別冊日経サイエンス No.242（2020）



ナショナルジオグラフィック記事、2020.02.03 より

チンパンジーの生活パターンは？

- 夜明けとともに起きて果物を食べに～満腹になると昼寝前に1時間のグルーミング～寝床で昼寝～イチジクなどをたっぷり食べてグルーミング～早めの夕食で果物をたっぷり～寝床で就寝
- 時々サル狩りをする
- 加えてアルファ雄は乱暴を働き地位を誇示
- 大型類人猿の生活時間

  日中8～10時間休息とグルーミングと食事

  一晩9～10時間の睡眠

  チンパンジーとボノボは1日3Km移動と100ｍの木登り

楽園でのグ～タラ生活なのに・・

- 習慣的な身体活動度は低い
  飼育下でも糖尿病にならないし加齢による血圧上昇はない
  コレステロール値は高いが冠状動脈疾患はみられない
  （グリコリックノイラミン酸：GCを持っているため？）
- ゴリラとオラウータンの平均体脂肪率14～23％
- チンパンジーは10％未満

- 人間だけが例外的に高いレベルの身体活動が必要？

枝分かれ

- 初期ホミニンは二足歩行はしたが樹上生活も継続
  （アルディピテクス・ラミダスの足の指に典型的？）
- アウストラロピテクス段階から多くの時間を地上で過ごす？
- （安全のため？）樹上で睡眠や生活を続けていた
- 食性は硬くて繊維質の多い食物が中心（化石の歯の消耗度）
- 広範囲の食物採集のためより少ないカロリーで長距離を移動するように適応してきた可能性
- 雄の犬歯の小型化は「攻撃性の消失？」

ホモ・ハビリスからホモ・エレクトスへ

- 動物解体時の “カットマーク”のある骨が出土
- 180万年前のホモ・エレクトス段階から普通に出土
- “出アフリカ”を可能とした広範な狩猟活動の縄張り

- 発見や捕獲が困難な食物を捕獲する複雑な行動様式
- サバンナの草食動物の3倍の移動距離をもつ肉食動物
- ホミニンの狩猟採集戦略への転換・・協力と協働が必要
- 協力とコミュニケーションが抜きがたい戦略となった

持久狩猟を支えたもの

- 現在の狩猟採集民の生活様式から推定されるもの
  1日9〜14Km移動（1万2000〜1万8000歩）
- 狩猟採集が主要戦略となれば生理学的特性も変化し依存する
- 脳が長時間にわたる身体運動に対して報酬を与えるよう進化？
- 脳が正常に発達するには身体活動が必要となるように進化？
  （D.A.ライクレン）
- 人類の最大酸素摂取量はチンパンジーの4倍
- 脚筋が発達（類人猿の150％）しかつ遅筋線維の割合が高い

エネルギー代謝パターンの変化

- より速い代謝を進化させ、増加する身体活動や大きな脳などエネルギーを食らう形質に必要な燃料を提供すること
- 身体活動は1日あたりのエネルギー消費量にほとんど影響を与えない
- 運動は体のエネルギーの使い方を調節し重要なタスクを調整
- 活動する筋肉から分泌されるシグナル分子

　持久的運動実施による慢性炎症の抑制／ステロイドホルモンの調整／コルチゾールの朝の増加の抑制／ブドウ糖を脂肪ではなく筋グリコーゲンに変換／定期的な運動による免疫系の改善 等々

- 運動は強度ではなく量が重要（持久狩猟のレガシー？）

運動が記憶力を改善する理由

D.A.ライクレン（南カリフォルニア大学）
G.E.アレクサンダー（アリゾナ大学）

別冊日経サイエンス No.242（2020）

運動と脳の可塑性

- 脳由来神経栄養因子（BDNF）が海馬のニューロン新生に関与
- 12カ月の有酸素運動で人間でもBDNF増大と海馬の新生、記憶力改善
- 適度または激しい運動に従事するのが長い人は海馬が大きい
- 有酸素運動と前頭皮質（前頭前野）の拡大？
  実行認知機能との関連（計画・意思決定・マルチタスク実行）
- 直立二足歩行自体が四足歩行よりも認知的負荷が高い
- 狩猟採集生活に伴う有酸素運動量の急激な増加
- 移動中の空間運動量（ナビゲーション）増加に伴う海馬の活動
- 新たなニューロンの発生と生理的リソースを要求
- 日常的に利用しないのなら「失われてしまう」・・！！

運動しながら頭を使う？

- 多くの有酸素運動を実行していても・・
  単に運動量を増やすだけでは脳機能の低下は防げない？
- 進化のメカニズムを最大限に活用できていない？
- 変化し続ける環境ので移動するときは他の認知的負荷に対応
- 認知的負荷の多い課題がニューロンの生存率を高める？
  （Eスポーツ実施時の認知負荷の多さ・・：山崎）
- 最近の認知症予防のためのマルチタスク・エクササイズ
- 複雑なスポーツ：球技・ダンス・トレイルラン・ボルダリング？

運動のパラドックス
なぜやせないのか

H.ポンツァー
（ニューヨーク市立大学ハンター校）

別冊日経サイエンスNo.237「食と健康」（2020年）

カロリー経済

- 200万年に及ぶ狩猟採集生活
  ⇒ 農業は1万年、近代的な都市や技術は数世代前から
- タンザニアのハッザ族の協力的な食糧調達の生活
  女性は採集活動で1日数キロを移動
  男性は狩りと追跡に多くのエネルギーを消費
  ⇒ しかし欧米人との差はほとんどない（二重標識水法）
- 加速度計で追跡した毎日の身体運動と代謝との関係は弱い！
- 動物園で飼育される霊長類と野生の霊長類もエネルギー消費量は変わらない・・

病の起源
プロローグ
人類進化
700万年の宿命
タンザニア

エネルギー消費を抑えながら高い活動を維持？

- 身体の「カロリー経済」？
  人体の日常業務へのカロリー節約？
  細胞や臓器の維持のためのエネルギーを減らしている？
  運動により免疫系が発動する炎症反応（での消費）を抑制？
  エストロゲンなどの生殖ホルモンの低下？
- 肥満は運動不足ではなく過食に誘発される
- 「不健康な食事の悪影響は運動では消せない」！
- 女子持久系アスリートの身体は省エネ化している？

大きな脳を維持し子孫を残し長生きする？

- 霊長類は他の動物の1/2のカロリー消費
  成長と繁殖の遅さを反映？
- 人間のエネルギー多消費型の形質
  速い繁殖など高い代謝率の変化と関連？
  人はチンパンジーやボノボに比べて400Kcal多い
- 人体は細胞レベルに至るまでエネルギー生産性が高い
  食事の変化により腸のエネルギー消費量が減少
  脳と肝臓と筋肉が全エネルギーのそれぞれ20％、心臓は9％

姿現す肥満遺伝子

R.J.ジョンソン（コロラド大）
P.アンドリュース（ロンドン自然史博物館）

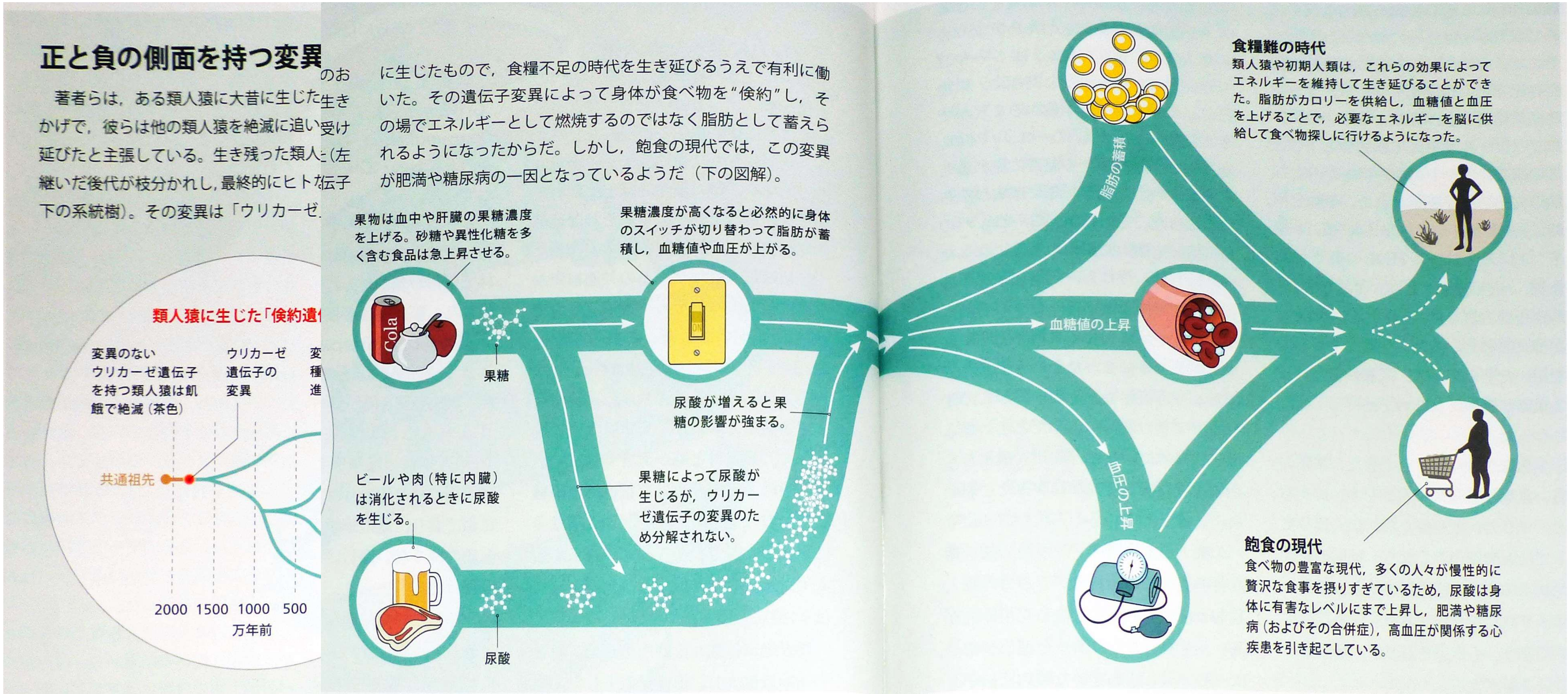
別冊日経サイエンスNo.237「食と健康」（2020年）

倹約遺伝子（肥満遺伝子）？

- 脂肪を蓄積しやすい（飢餓を生き延びる）形質？
- 1000万年以上前の類人猿に生じた変異？
  チンパンジー・ヒト・ゴリラの共通祖先
- 2600年前の初期類人猿（プロコンスル）がユーラシアへ
  ⇒ 地球環境の寒冷化で冬期の飢餓が発生
    ⇒ 果実以外のイモや根も食物として摂取
- 700万年前アフリカに戻った類人猿と「ウリカーゼ変異」
  食糧危機を乗り切るための適応としての「倹約遺伝子」

ウリカーゼ遺伝子の変異

別冊日経サイエンスNo.237「食と健康」（2020年）



尿酸の影響

- 尿酸の生成とウリカーゼによる分解作用の抑制
  肉や内臓の消化の際に生ずる尿酸が蓄積（若干の高値）
  ⇒ 現代の西洋型の食事と運動不足で平均尿酸値の急増
- 高血圧と心疾患の原因としての尿酸値上昇
- 「食糧難」の時代
  蓄積した脂肪細胞からのエネルギー
  ＋血糖値と血圧を上昇させることで脳へのエネルギー供給
- 「飽食」の時代
  肥満・糖尿病及び合併症・高血圧が関与する心疾患の急増

尿酸値と血圧の関係

- 尿酸値の上昇と「酸化ストレス」の発生
  血管収縮による血圧の上昇
  ＋腎臓での微小な損傷と炎症発生 ⇒ 塩分排出能力の低下
  ⇒ 血圧上昇の負のループの継続？
- 尿酸値を下げる「アロプリノール」投与で85％が血圧が正常化
- 生存戦略としての「脂肪スイッチ」
  自然界では太ったものが生き残る（前糖尿病状態）
  インシュリンによる血糖値低下を阻害する
  ⇒ インシュリン抵抗性による血中の残存糖を脳へ供給

果糖から脂肪を生成するルート

- 「レプチン」は満腹中枢を刺激する（必要以上に食べない）
  高果糖食ラットは食事量と脂肪蓄積が増え不活動化
- 高果糖食が「脂肪スイッチ」をONにする？
  ⇒ 倹約遺伝子を持つ類人猿やヒトでは尿酸値上昇
  ⇒ 果糖の影響が強まり肥満・心疾患・糖尿病のリスク上昇
  ⇒ 「飢餓」を乗り切る能力は高いが現代の健康上は・・？
- 倹約遺伝子≒ウリカーゼ遺伝子？
- 2種類の食品に反応して尿酸値が上昇
  「ビールや肉（内臓）」と多量の「果糖・異質化糖」

美食と人類の進化

W.R.レナード
（ノースウェスタン大）

別冊日経サイエンスNo.237「食と健康」（2020年）

人類の特性は食物の質と獲得方法？

- “パレオダイエット説”？
  人類は先史時代の狩猟採集民が進化させた食生活からの逸脱
- “旧石器時代食”ではなくさまざまなものを食べるように進化？
  「生存エネルギー」と「繁殖エネルギー」こそが原動力？
- 直立二足歩行の優位性？
  ゆっくり移動する場合はエネルギー消費が少ない
  　チンパンジーが歩くとエネルギー が35％増加
- 初期狩猟採集民は10Km以上歩き回ったと推定（効率優先）

大型化した脳と食物摂取の関係は？

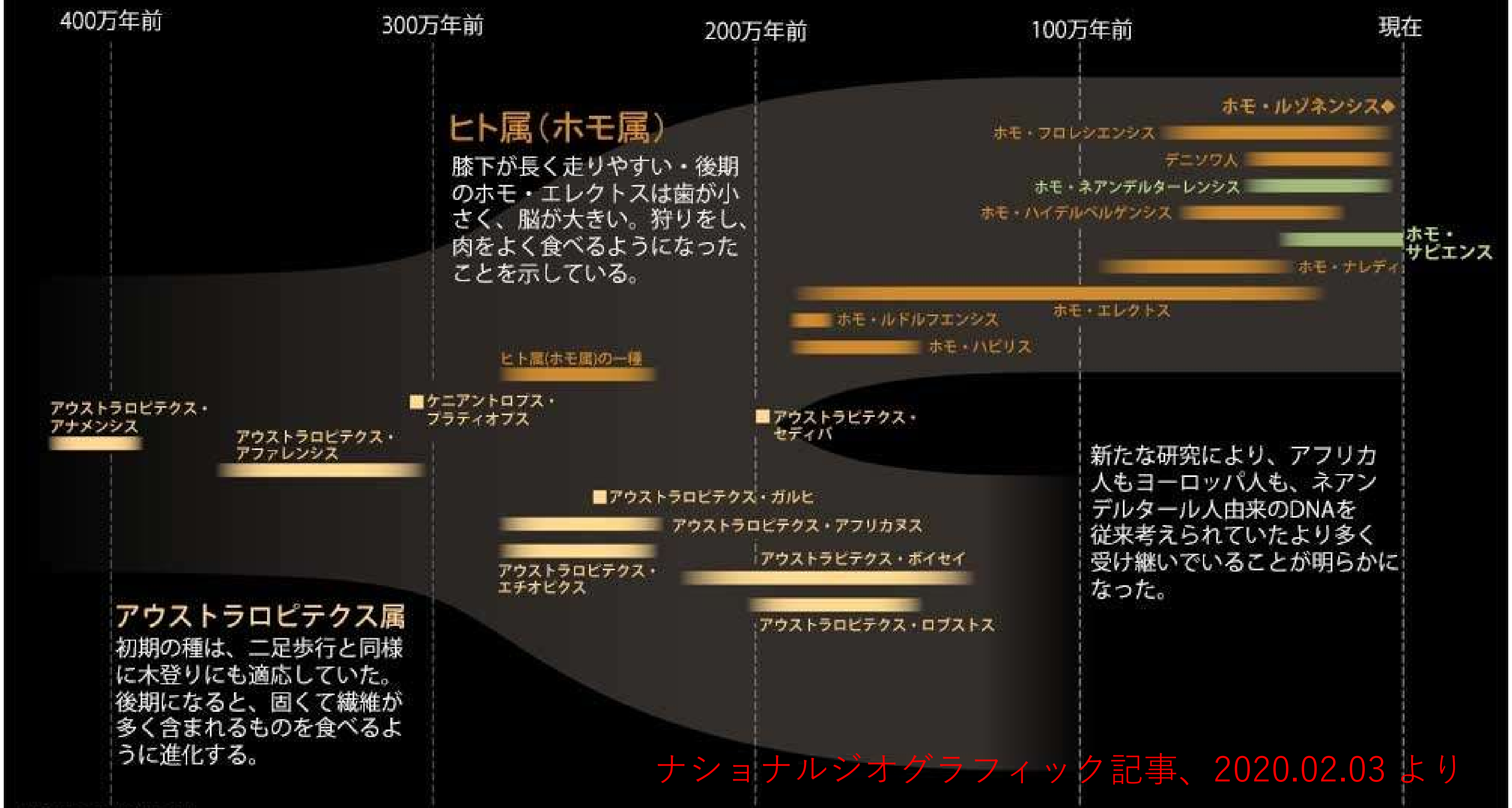
- 人類の進化と脳重量
  アウストラロピテクス（400cc：400万年前）
  ホモ・ハビリス（600cc：200万年前）
  ホモ・エレクトス（900cc：170万年前）
- 総エネルギーの20～25％を要求する脳神経系
  アウストラロピテクス11％からホモ・エレクトス17％
- 初期人類の脳の消費エネルギーを補える高カロリー食は何か？
  現在の狩猟採集民族は全エネルギー量の40～60％が動物性食

人類化石から見る食物の変容

- 食性と頭蓋骨及び歯の変化との対応
  アウストラロピテクス：硬く質の低い植物性食物
  頑丈型：繊維の多い植物をすりつぶす・・しかし絶滅した
  華奢型：繊細な顎で小さい歯（食性の変化を反映？）
- ホモ・ハビリスやホモ・エレクトス
  草食動物の増加（腐肉漁りや骨髄摂取から持久狩猟へ）
  食糧の分配と行動革命 ⇒ 人類遺跡で出土する骨と解体の痕跡
- 加熱調理仮説も・・

ヒトの起源

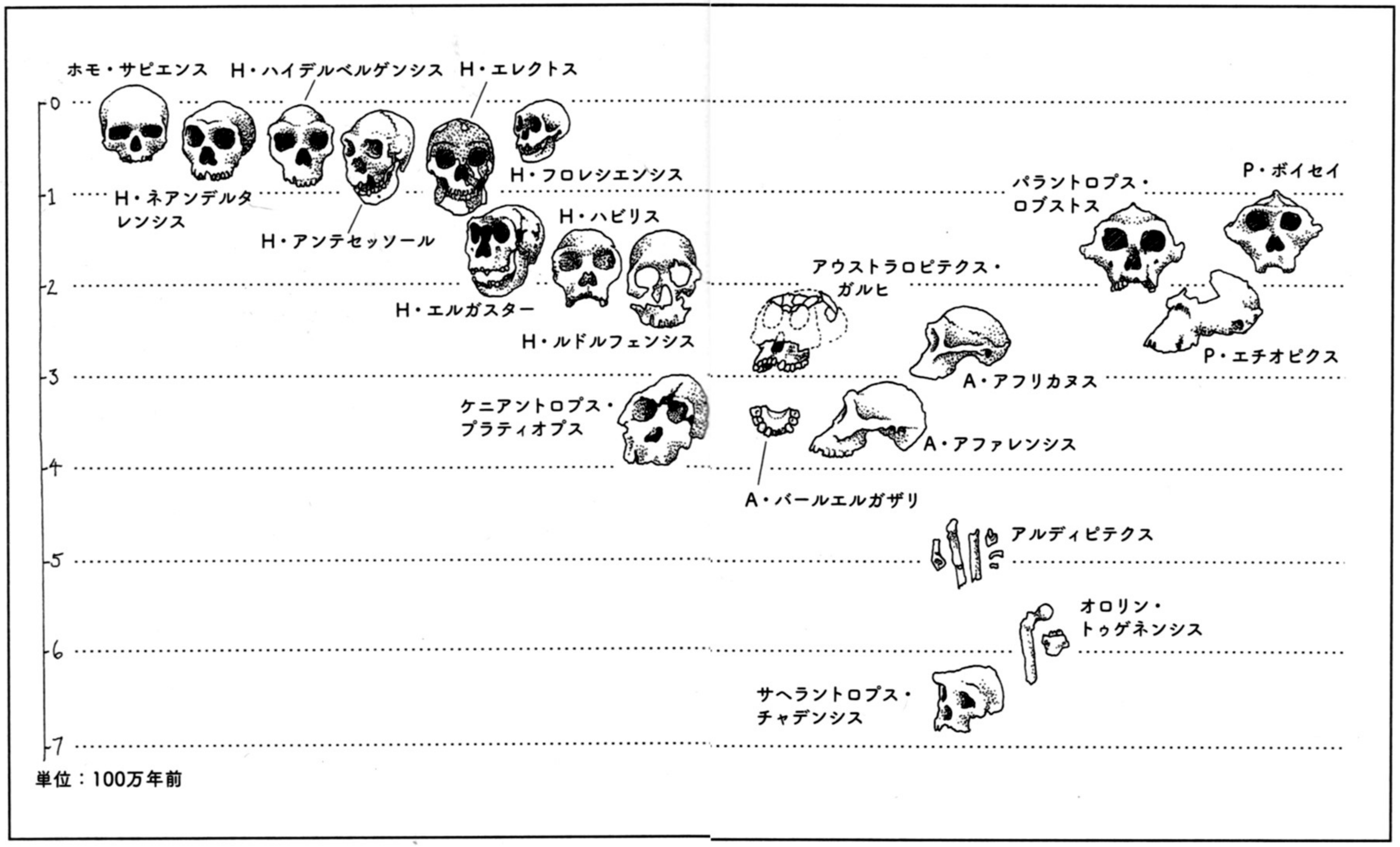
数百万年以上かけて、アフリカから様々な種のホモ族が出現した。
その中で現在生き残っているのは、我々人類（ホモ・サピエンス）だけだ。



ナショナルジオグラフィック記事、2020.02.03 より

JASON TREAT, NGM STAFF
SOURCES: LEE BERGER, UNIVERSITY OF THE WITWATERSRAND (WITS); JOHN HAWKS, UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON; Florent Détroit, Armand Salvador Mijares, And Others, Nature, 2019

人類系統樹（ロバーツによる「細分派」の引用、2016）



ホモ・エレクトスの“出アフリカ”？

- ジョージアのドマニシ遺跡（180万年前）
  獲物の大量の動物化石とオルドヴァイ型旧石器
  歯のなくなった「オールドマン」は仲間から介護されていた？
- ホモ・エレクトスの狩猟の縄張りは8～10倍に拡大
  季節移動する動物を追って“出アフリカ”を果たした？
- 北方進出に伴うカロリー消費量の増大要求
  ネアンデルタール人の適応（筋量増大と体型変化）
  ⇒ これを支える食料の確保 ⇒ 一日4000Kcalが必要だった？

別冊日経サイエンスNo.237「食と健康」（2020年）

人類は食物の多様性も獲得？

- 伝統的なライフスタイル
  肉などの動物食に偏る（80～95％）
  北米・イヌイット（BMI 24）やアフリカ・トゥルカナ（BMI 18）
  狩猟採集や牧畜民でも（30～40％）
  ボツワナ・クン（BMI 19）やロシア・エヴェンキ（BMI 22）
  食物のほとんどが植物由来（95％）
  ペルー高地のケチャ（BMI 21）
- 工業先進国の住民
  米国：2250Kcalで動物性Vs植物性比は23：77（BMI26.0）
  日本：1975Kcalで動物性Vs植物性比は22：78（BMI23.6）

集団	エネルギー摂取量（kcal／日）	動物性食品由来のエネルギー（%）	植物性食品由来のエネルギー（%）	血中総コレステロール値（mg／10ml）	体格指数（BMI，体重／身長^2）
狩猟採集民					
・クン（ボツワナ）	2100	33	67	121	19
・イヌイット（北アメリカ）	2350	96	4	141	24
牧畜民					
・トゥルカナ（ケニア）	1411	80	20	186	18
・エヴェンキ（ロシア）	2820	41	59	142	22
農耕民					
・ケチャ（ペルー高地）	2002	5	95	150	21
工業先進国の住民					
・米国	2250	23	77	204	26
・日本	1975	22	78	212.5	23.6

エネルギー摂取量は成人男女の平均値。コレステロール値と体格指数は成人男性の平均。WHOの基準では，BMIが18.5～24.9が標準，25.0～29.9が体重過多，30.0以上が肥満。BMIと疾病リスク率には民族差が大きく，日本では25.0から肥満として注意を呼びかけている。日本人データは平成12年と10年の国民栄養調査，稲上三佐子ら（1999年，肥満研究Vol.5 No.2）に基づく。

別冊日経サイエンスNo.237「食と健康」（2020年）

食物の成分の問題

- 肉自体の成分：脂質含有量と不飽和脂肪酸
- 生活様式の違い（運動量）
- 人類の進化の成果

「食生活に関する多様な戦略の獲得」
「代謝に必要なエネルギーと栄養素の効率的な獲得」

摂取するカロリーと消費するカロリーのバランスこそが重要

カロリー神話の落とし穴

By　S.B.ロバーツ／S.K.ダス
（タフツ大）

別冊日経サイエンスNo.237「食と健康」（2020年）

蔓延する肥満と健康問題

- 肥満による2型糖尿病や心臓疾患、脳卒中、ある種のがん
  ⇒ 寿命の短縮は14年
- 体重過多は免疫力や睡眠障害、健康な加齢を阻害する

- 体重を減らすことに「運動」に取り組むことは最重要ではない
- 運動実施よりも何をどのくらい食べたのかが大きなカギを握る
- 減量に効果的な食物は人によって違う
- うまく働く個人に合わせた原料プログラムが重要

摂取カロリーと消費カロリーの不等式

- エネルギー収支の赤字をつくり出す方法

　栄養を適切に摂取している限り、運動量の増加と食事量の減少をどのように組み合わせて安全に減量できるか

- まずはエネルギー消費量を推定すること

　「二重標識水法（重水素：^{2}Hと酸素18：^{18}O）」

　摂取後1〜2週間の排出尿中量で計算する

　代謝チャンバー質の直接法や呼気ガス分析より拘束性が少ない

　（「日本人の食事摂取基準2020」の算定法）

消費カロリーの推定

- 健康的で標準的な米国人は一日2500Kcl
- 肥満でない女性では1600Kcal
- 非常に活動的な生活をしている原住民でもほぼ同等
  タンザニアのハッザ族でも男性は2650Kcal、女性は1880Kcal
  シベリアのヤクート族は男性は3100Kcal、女性は2300Kcal
  アンデス高地アイマラ族は男性は2650Kcal、女性は2350Kcal
- 現在の米国民は1970年と比較して500Kcalの摂取増加
  1日55ｇ、1月1.5Kｇ、1年18Kg・・・

摂取カロリーと消費カロリーの複雑さ

- アットウォーター係数
  タンパク質と炭水化物は1ｇ4Kcal、脂肪は9Kcal
- 栄養表示のカロリー全量は吸収できない（ベア、2012年）
  生の全粒アーモンドは1/3だがアーモンドバターでは100％
- 全粒穀物やオートミール、高繊維シリアルは消化が悪い

- 運動によるエネルギー消費は1/3で基礎代謝が2/3
- 代謝率も個別性があり1日500Kcalの差は ”家系差“？（1986）

脳が生む食欲

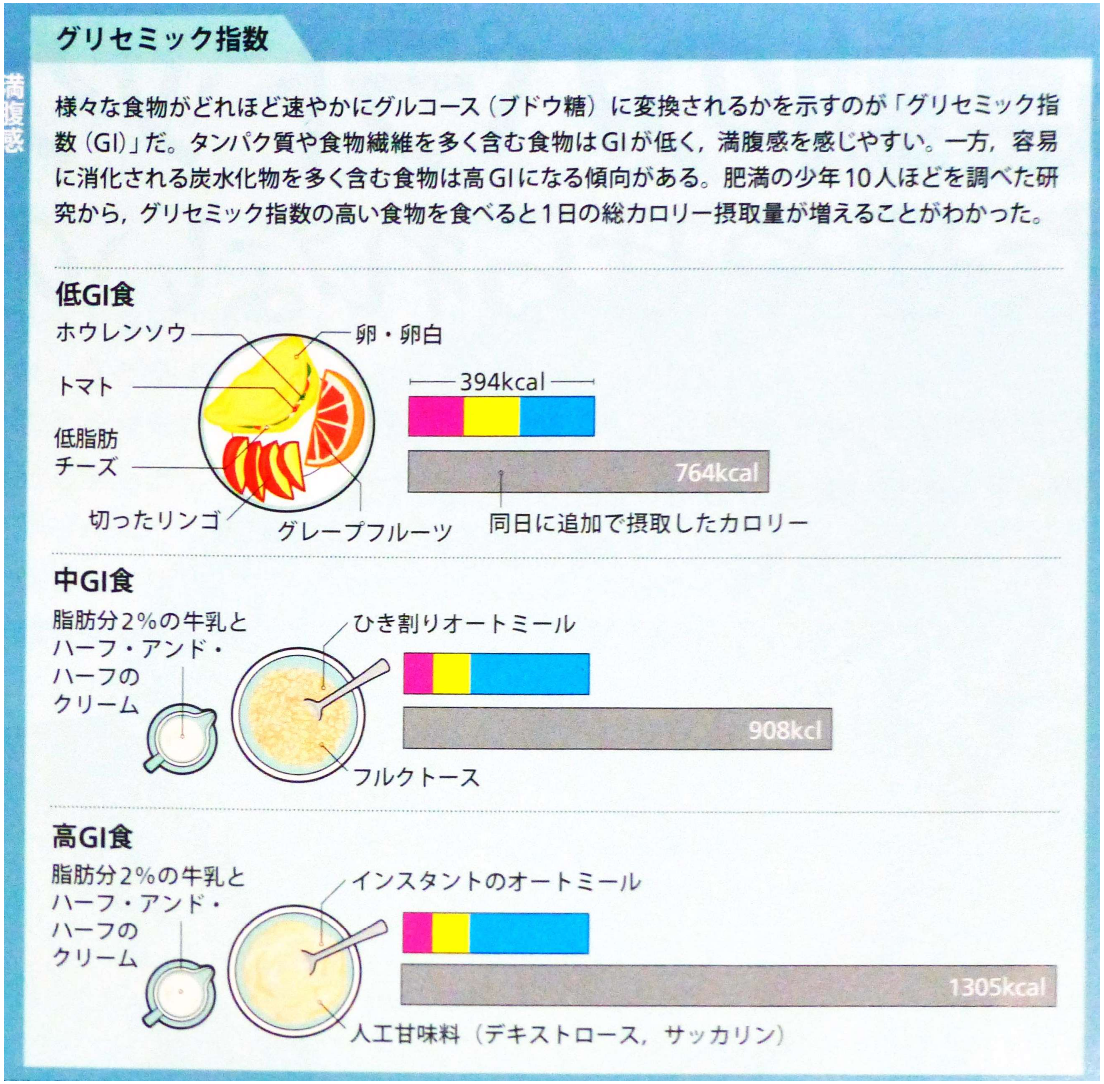
- 「空腹感」を生みだすもの
  レプチンの作用
- タンパク質や食物繊維が豊富、血糖値の急上昇を起こさない食事は一般に満腹感が強い
- 「高グリセミック指数（GI）」と「低GI」の食事比較
  高GI食後は摂取カロリーが29％増加する（2000）
- タンパク質と繊維質豊富で低GI食の減量プログラムの効果
  通常食と比較して空腹感の低下と8Kgの減量
  様々な食物画像提示時の脳の報償中枢が変化する

GIの違いとその後の摂取カロリーの変化

肥満者のインシュリン濃度は肥満の程度に応じて増加する

①高タンパク・高食物繊維・低炭水化物・低GIのダイエット
②高炭水化物・高GIのダイエット

インシュリン濃度が高い場合は①
低い場合はどちらも効果は同じ



食欲の暴走を招く超加工食品

E.R.シェル
（ボストン大）

別冊日経サイエンスNo.237「食と健康」（2020年）

未加工食品

植物の果実や種子，根，茎，葉などと動物の肉や卵などが未加工食品だ。貯蔵期間を延ばすために冷凍にしたり，乾燥させたり，あるいは低温殺菌処理が行われることはあるが，砂糖や塩，油脂などが加えられることはない。

加工食品

保存性を高めたり味を良くするために，砂糖や塩，油脂などを自然食品に加えたものが加工食品だ。缶詰になった野菜や魚，燻製や塩漬けにされた肉，チーズなどのほかに，ワインやビールといった発酵飲料もこのカテゴリーに含まれる。

超加工食品

すぐに食べられるようになっている製品のことで，飲料も含む。通常，多くの添加物が使われている。添加物には油脂，着色料，調味料，ノンシュガー甘味料，膨張剤，増粘剤などがある（写真はイメージ。肥満と関連づけられている特定のブランドはない）。

超加工食品摂取が10%増 ➡ がんリスクが12%上昇

※2018年2月に発表されたフランス・パリ第13大学の研究者らの論文より

超加工食品とはなにか

❶すぐに食べたり飲んだり、温めたりできる
❷非常に口当たりが良い
❸洗練され魅力的な包装がされている
❹健康的であることを謳っている
❺全世代に向けたマーケティングが多方面に強く行われている
❻利益率が高い
❼国際的な企業によりブランド戦略が組まれ販売されている

NOVA分類

様々な食品を4つのグループに区分するもの。2009年にサンパウロ大学の教授らによって提唱された。
現在では多くの国で研究に使われている。

NOVA分類の4つのグループ

グループ1 未加工ないしほとんど加工されていない食品 例 肉、果物、野菜	グループ2 加工された家庭料理の材料 例 料理塩、酢
グループ3 加工食品 例 果物の缶詰、燻製肉	グループ4 超加工食品 例 菓子パン、インスタント食品

超加工食品に特徴的な添加物等

家庭料理の材料としては一般的でないもの。
素材や家庭料理の風味を模倣したり、最終加工品の見た目や食感を増したり、不快な食感を隠したりする目的のもの。

具体例

香料　化学調味料　人工甘味料　着色料　色素　発色剤　増量剤　光沢剤　乳化剤　隔離剤　保湿剤　たん白加水分解物　転化糖　異性化糖　など

HUMAN
ヒューマンエイジ
AGE
人間の時代
NHK G

真犯人は誰だ？（K.ホールの研究から）

- 炭水化物摂取抑制食は ”体脂肪の減少傾向を遅くする“？
- 自由選択摂取では「超加工食品」摂取が「未加工食品」からのカロリー摂取を数百Kcal上回る？（2週間で体重900g増）
- 炭水化物主犯説はほんとうか？

　炭水化物50％、脂肪35％、タンパク質15％食（5日間）

　炭水化物35％食に切り替える

　　⇒ インシュリン濃度低下があっても脂質代謝に影響しない？

- 「加工されたカロリー」は天然にはない形や組み合わせ！

　米国民一人当たり超加工食品（糖分・脂肪・塩分過多）で利用可能エネルギーが600Kcal以上の増加に貢献

超加工食品と未加工食品

- 栄養士が綿密に調整したカロリーやエネルギー密度、脂肪、炭水化物、タンパク質、砂糖、ナトリウム、食物繊維の量をそろえたメニュー

  ⇒ 超加工食品メニューでは一日500Kcal多く摂取する
- 腸と脳の連絡障害説？

  胃や腸に入ってくるエネルギー（カロリー）量の情報が混乱

  高カロリー食品が持つ知覚的手掛かり（におい、色、質感）と「意思決定」に関わる脳の線条体活性化？

  実際のエネルギー摂取量と知覚上のエネルギー摂取量の不一致？

  天然甘味料と人工甘味料の情報の混乱？

  低加工食品から得る代謝信号を受け取らない

  自然界では炭水化物は食物繊維と一体の未加工食品を加工する！

依存性薬物と類似した反応？

- A.グレイビエルの指摘

「行動パターンを学ぶとき、脳は開始の合図と終了の合図を含めて全体の流れをひとまとめにする」「その後は深く考えなくても、一連の流れを行動できるようになる」

（意思決定に関わる脳の線条体にある特定のニューロン群は、一連の行動をひとまとめにして、それを習慣にすることに関与）

- K.ベリッジの研究

ジャンクフードを与えたラットで肥満になったラットでは脳の報酬系であるドーパミン系が亢進（肥満にならなかったラットでは変化がない）