



一般財団法人アライアンス・フォーラム財団
スピルリナプロジェクト
「栄養失調」

2013年12月
リサーチアシスタント
井上雄太

1. 栄養失調の概要

- 栄養失調の定義
- 栄養失調の影響
- 栄養問題とMDGs
- 栄養を考える視点

1. 主な栄養失調の種類

- 主要栄養素(エネルギー・タンパク質)欠乏
- 微量栄養素欠乏

2. 栄養失調のさらなる展開

- 新しい栄養失調—肥満と生活習慣病—
- 世代を超えた栄養失調の影響
- 腸内細菌と栄養

1. 栄養失調の概要

- 栄養失調の定義
- 栄養失調の影響
- 栄養問題とMDGs
- 栄養を考える視点

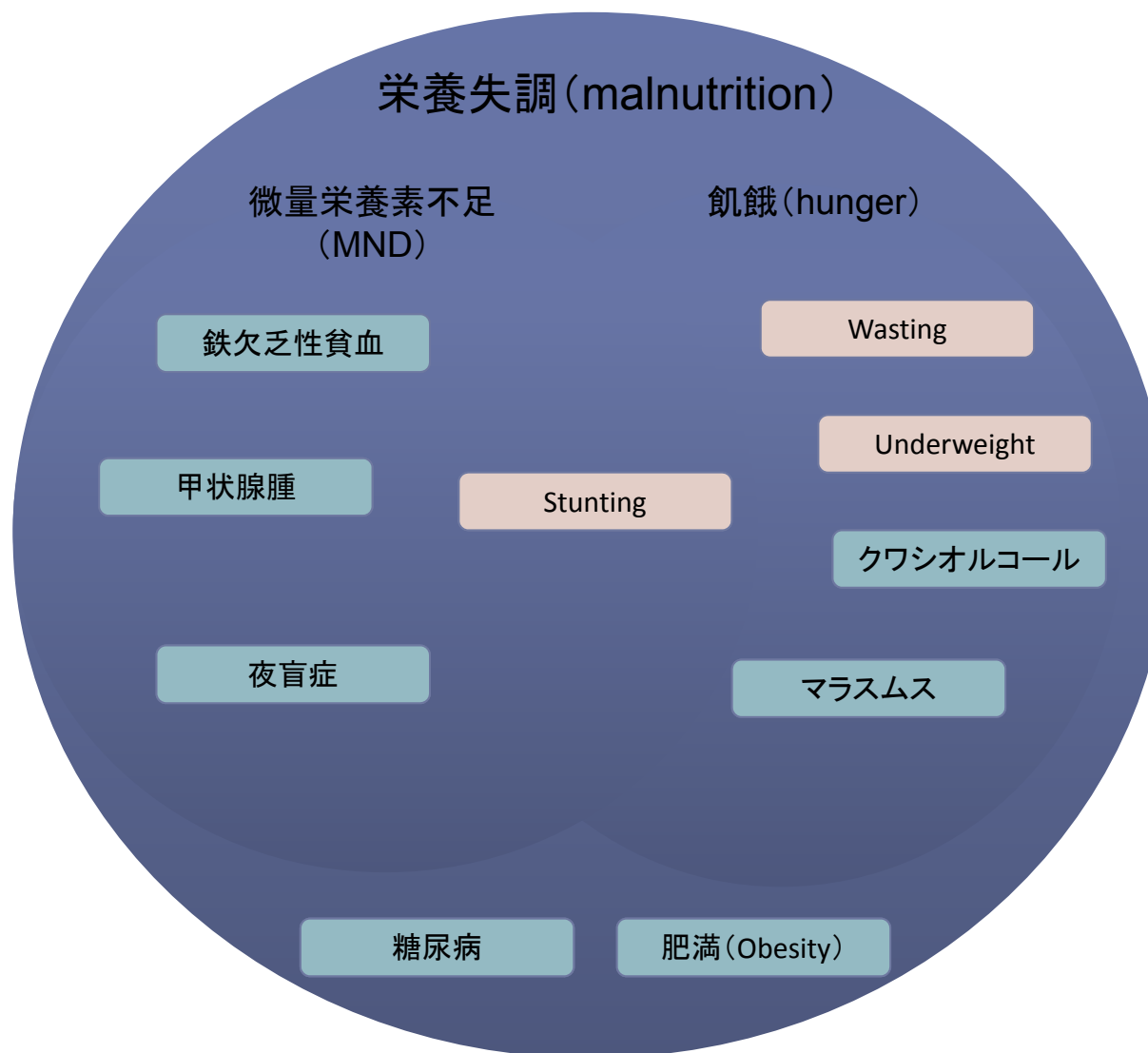
1. 主な栄養失調の種類

- 主要栄養素(エネルギー・タンパク質)欠乏
- 微量栄養素欠乏

2. 栄養失調のさらなる展開

- 新しい栄養失調ー肥満と生活習慣病ー
- 世代を超えた栄養失調の影響
- 腸内細菌と栄養

栄養失調の定義



栄養失調には、様々な種類があり、大きく分けて微量栄養素不足 (Micro Nutrient Deficiency) と主要栄養素不足 (Macro Nutrient Deficiency) がある。主要栄養素不足は飢餓 (hunger) とほぼ同義である。また先進国では一般的な問題になりつつある肥満や糖尿病という栄養過多による問題もまた栄養失調に含まれる。

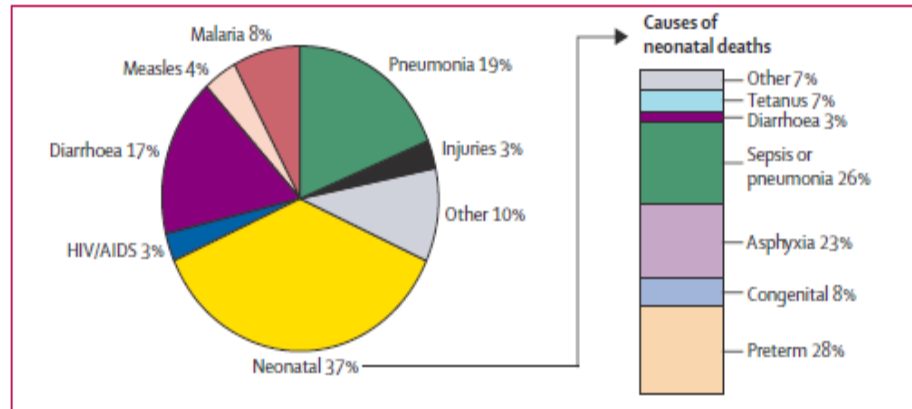
栄養失調というコンテキストの中では左にあげられているような様々な症状・疾病が語られる。これらの中には甲状腺腫のような直接的な疾病をさすものもあれば、肥満・クワシオルコールのような状態を指すものもある。

左の図において代表的な症状を挙げているが、青色で色付けされているものはICD (国際疾病分類) に記載されている疾病である。その他の色のものは疾病というよりはその疾病を判断するための指標となるものである。

栄養失調の影響とこれまでの改善状況

Major causes of death in children <5 years old Source: Bryce J et al. Lancet. (2005)

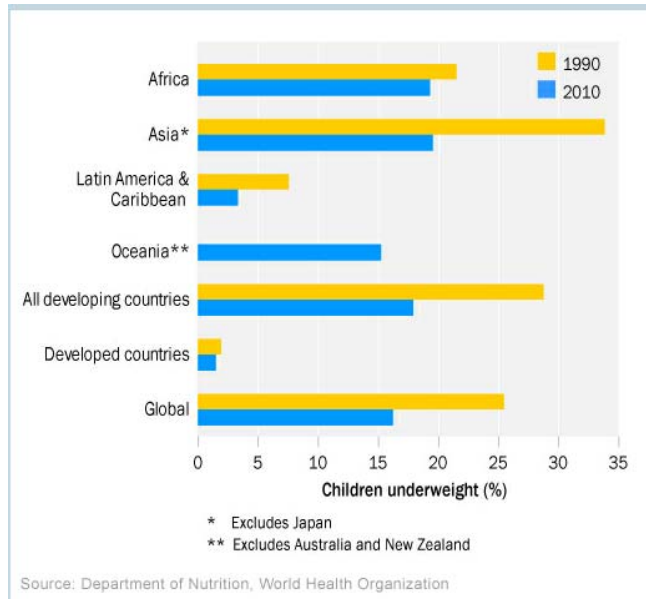
影響



栄養失調は、直接の死亡の原因としては記録されることはなく、その影響の評価は難しい。しかしD.L. Pelletier et al. (1995) によれば、途上国で起こっている**5歳未満の子供の死亡の内56%**が、栄養失調の潜在的な影響を受けたものであり、さらにそのうちの83%は重度でない栄養失調によるものであると報告されている。

The change (1990 – 2010 : the prevalence of underweight)

変化



栄養失調は、世界的に見て減少傾向にある。しかし地域ごとにみるとアジアや中南米地域ではほぼ半減しているものの、アフリカではわずかにしか減少していないというように地域差が大きい。

またその一方でオセアニアや東南アジアを中心とした途上国においては、糖尿病や肥満などの生活習慣病の増加も確認されており、低栄養と生活習慣病が同時には起きている、“Double-burden”とよばれる状態に陥っている地域もある。

開発目標における栄養失調 —MDGsのなかで—

ミレニアム開発目標(Millennium Development Goals)

1	極度の貧困と飢餓の撲滅 Eradicate extreme poverty and hunger ターゲット1-A 2015年までに1日1ドル未満で生活する人口の割合を1990年の水準の半数に減少させる ターゲット1-B 女性、若者を含むすべての人々の、完全かつ生産的な雇用、ディーセント・ワーク(適切な雇用)を達成する ターゲット1-C 2015年までに飢餓に苦しむ人口の割合を1990年の水準の半数に減少させる	6	ターゲット6-B 2010年までに必要とするすべての人がHIV/エイズの治療を受けられるようにする ターゲット6-C 2015年までにマラリアやその他の主要な疾病の発生を阻止し、その後、発生率を下げる
	2 普遍的な初等教育の達成 Achieve universal primary education ターゲット2-A 2015年までにすべての子どもが男女の区別なく初等教育の全課程を修了できるようにする		7 環境の持続可能性を確保 Ensure environmental sustainability ターゲット7-A 持続可能な開発の原則を国家政策やプログラムに反映させ、環境資源の損失を阻止し、回復を図る ターゲット7-B 2010年までに生物多様性の損失を確実に減少させ、その後も継続的に減少させる ターゲット7-C 2015年までに安全な飲料水と衛生施設を継続的に利用できない人々の割合を半減する ターゲット7-D 2020年までに少なくとも1億人のスラム居住者の生活を大きく改善する
3	ジェンダー平等の推進と女性の地位向上 Promote gender equality and empower women ターゲット3-A 2005年までに可能な限り、初等・中等教育で男女格差を解消し、2015年までにすべての教育レベルで男女格差を解消する	8	開発のためのグローバルなパートナーシップの推進 Develop a global partnership for development ターゲット8-A 開放的で、ルールに基づく、予測可能でかつ差別的でない貿易と金融システムを構築する ターゲット8-B 後発開発途上国(LDCs)の特別なニーズに取り組む ターゲット8-C 内陸開発途上国と小島嶼開発途上国(太平洋・西インド諸島・インド洋などにある、領土が狭く、低地の島国)の特別なニーズに取り組む ターゲット8-D 国内および国際的措置を通じて途上国の債務問題に包括的に取り組み、債務を長期的に持続可能なものとする ターゲット8-E 製薬会社と協力して、途上国で人々が安価で必要不可欠な医薬品を入手できるようにする ターゲット8-F 民間セクターと協力して、特に情報・通信での新技術による利益が得られるようにする
4	乳幼児死亡率の削減 Reduce child mortality ターゲット4-A 2015年までに5歳未満児の死亡率を1990年の水準の3分の1にまで引き下げる		
5	妊産婦の健康状態の改善 Improve maternal health ターゲット5-A 2015年までに妊産婦の死亡率を1990年の水準の4分の1に引き下げる ターゲット5-B 2015年までにリプロダクティブ・ヘルス(性と生殖に関する健康)の完全普及を達成する		
6	HIV/エイズ、マラリア、その他の疾病のまん延防止 Combat HIV/AIDS, malaria and other diseases ターゲット6-A 2015年までにHIV/エイズのまん延を阻止し、その後、減少させる		

- 「国連ミレニアム宣言(2000年)」と1990年代にサミットや国際会議で採用された、より安全で豊かな世界をつくるための開発目標のこと2015年までに8つの目標と21のターゲット、60の指標を達成するとしている。
- そのうちターゲット1-Cが直接的に、4-A・5-A・6-Cなどが間接的に栄養失調に関係している。
- つまり発展途上国における栄養状態の向上を目指すことは、地球全体における豊かさを達成する上で避けては通れない課題である。

Source: UNDP駐日事務所 ミレニアム開発目標日本語パンフレット
(http://www.undp.or.jp/publications/pdf/millennium2010_11.pdf)

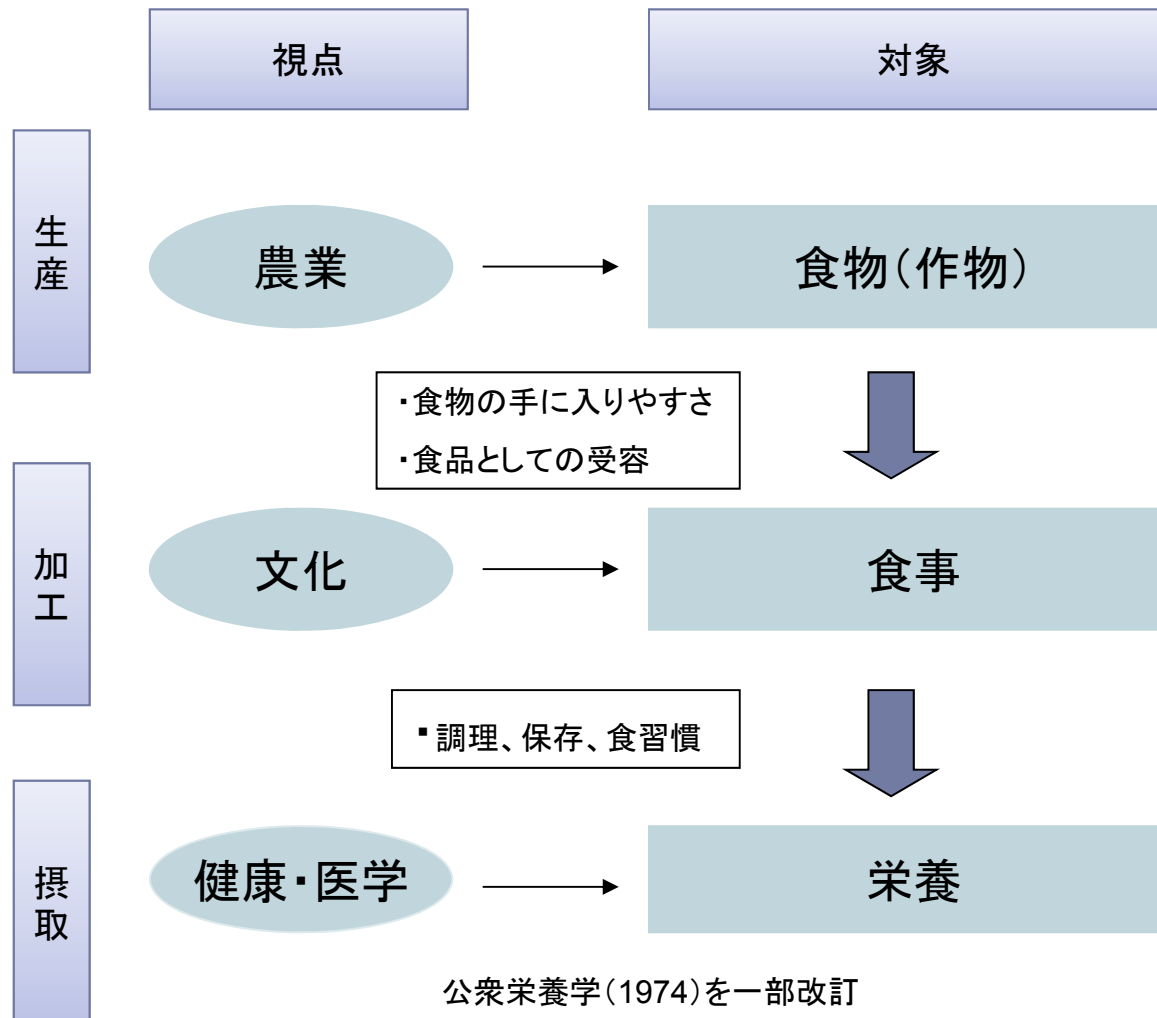
栄養失調に関するMDGsの現状

	目標	現状
ターゲット1-C	貧困と飢饉の撲滅 ・2015年までに飢餓に苦しむ人口の割合を1990年の水準の半分ににする	・栄養不足になっている人口の割合は1990年の約20%から2008年には15.5%にまで減少した。しかしその実数は約85000万人のまま変化していない。
ターゲット4-A	乳幼児死亡率(IMR)の削減 ・2015年までに5歳未満児の死亡率を1990年の水準の3分の1にまで引き下げる	・1990年から2010年にかけて、途上国全体ではIMR(1000人対)が97から63と減少した。実数でみても5歳未満の死亡者数は1200万人から760万人に減少した。
ターゲット5-A	妊産婦の健康状態の改善 ・2015年までに妊産婦の死亡率を1990年の水準の4分の1に引き下げる	・妊産婦死亡率は、途上国全体で1990年に440(10万人対)だったのが、240へと減少した。しかし先進国(37)と比べると、まだ15倍以上の差がある。
ターゲット6-C	HIV/エイズ、マラリア、その他の疾病の蔓延防止 ・2015年までにマラリアやその他の主要な疾病の発生を阻止し、その後、発生率を下げる	・マラリアの感染が確認されている99カ国のうち約半数の国で発生数が1990年から2010年の間で半減した。また結核でも発生数・死亡率の減少が確認されている。

Source: UNDP Millennium Development Goals Report 2012

全体的に減少傾向ではあるものの、そもそも掲げていた目標自体の達成にはターゲット6-Cを除いて、まだまだ道半ば。また地域ごとにも差があり、なかなか達成されていない。

栄養問題を考える上での視点① 社会システムの中での栄養

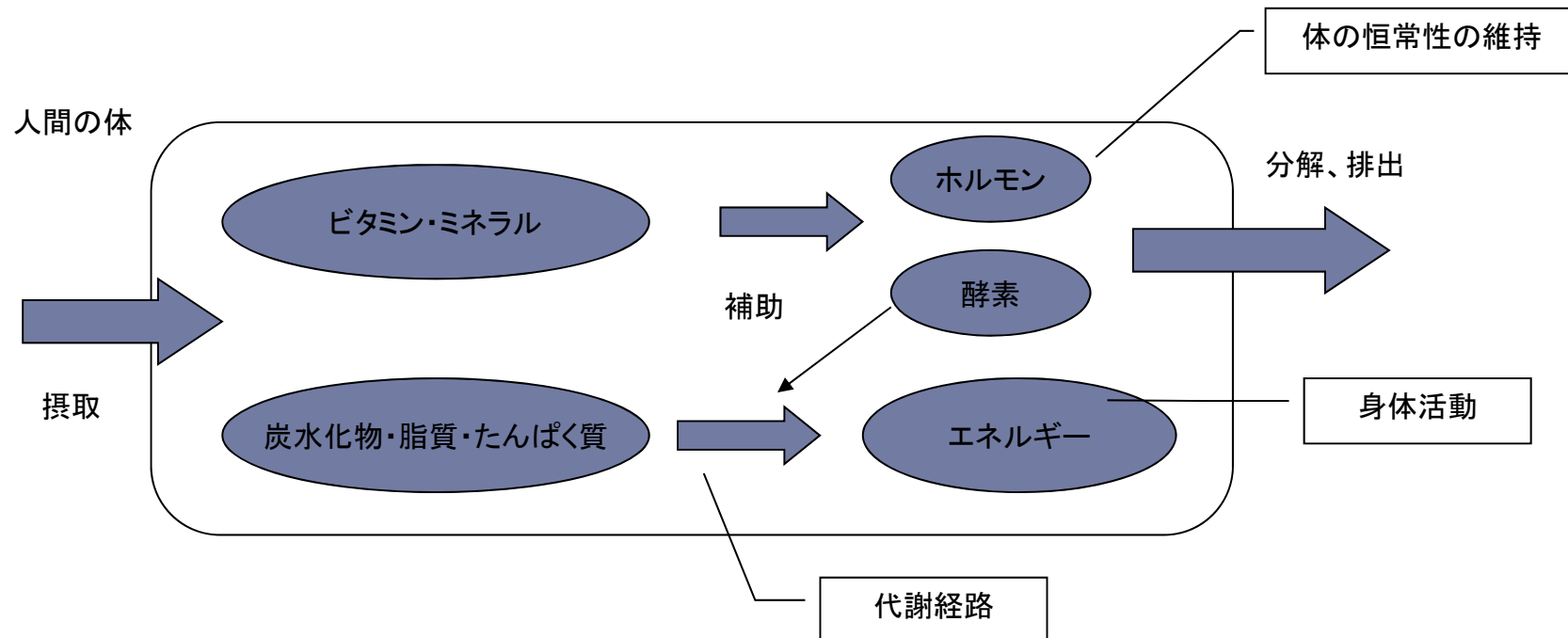


栄養といったときに用いられている視点は医学を含めた健康科学的なものである。しかし、その栄養のもととは食事で摂取されるものであり、その食事自体も、それに使われる食物(作物)に基づいている。

栄養が足りないという場合、特に特定の栄養素が足りないという場合には(鉄不足による貧血、ヨード不足による甲状腺腫など)、その原因を探る上で、どの時点でのロスが生まれているかを探す必要がある。

またそのロスも生産・加工・摂取という段階に加え、ある段階から次の段階へと移るプロセスの間にも注目する必要がある。

栄養問題を考える上での視点② 栄養素の体内での動態



次に考えたいのが、不足している栄養素がどこで失われているのか？という問題である。

上の図は栄養素が体に取り入れられて、排出されるまでを簡単に表現した模式図である。

このように見たときに、栄養不足ということを考えるとその原因は以下の3点に絞られる。

- ・摂取の異常(そもそも十分な栄養を確保できていない)
- ・代謝の異常(栄養素をエネルギーやその他のホルモンに変換する途中で異常がある)
- ・排出の異常(栄養を取り込んでいるものの病気などが原因で排出・分解が摂取を上回ってしまう)

栄養素という切り口（主要栄養素と微量栄養素）

体重を70kgと仮定したときの元素構成。

人類生態学(2002)

分類	元素	各元素の含有量(g)	合計含有量(kg)	主要な機能
主要元素	O,C,H,N	43000~1800	67	体の構成
	Ca,P,S,K,Na,Cl,Mg	1000~19	2.3	骨、電解質
必須微量元素	Fe,Zn,Cu,V,Mn,I,Se,Ni,Cr,Co	4.2~0.0015	0.7	酵素・ホルモンの構成成分

左の図にあるように人間の体を構成する元素には様々なものがあり、それぞれが重要な役割を担っている。

大きく分けると栄養素には2種類があり、体の構成・エネルギーとして重要となる炭水化物・タンパク質・脂質の主要栄養素と、酵素・ホルモンなど体の恒常性に役立っている微量栄養素とに分けられる。

	栄養のかたち	貯蔵
主要栄養素	炭水化物、タンパク質、脂質	肝臓やその他の部位にグリコーゲン、脂肪、筋タンパク質の形で貯蔵される
微量栄養素	ビタミン、ミネラル	水溶性のものは基本的に排出される。脂溶性のものは肝臓や骨など種類によって様々な場所に貯蔵される

1. 栄養失調の概要

- 栄養失調の定義
- 栄養失調の影響
- 栄養問題とMDGs
- 栄養を考える視点

1. 主な栄養失調の種類

- 主要栄養素(エネルギー・タンパク質)欠乏
- 微量栄養素欠乏

2. 栄養失調のさらなる展開

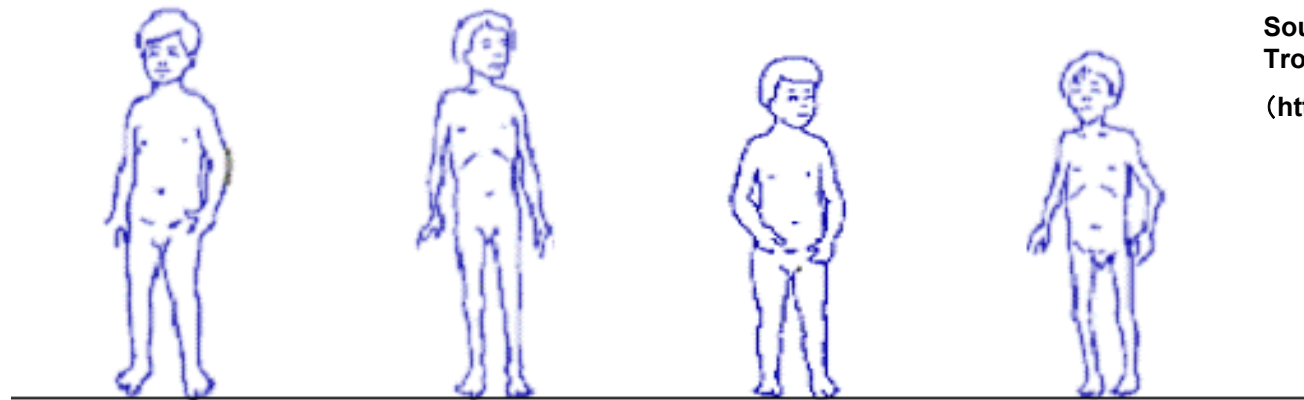
- 新しい栄養失調—肥満と生活習慣病—
- 世代を超えた栄養失調の影響
- 腸内細菌と栄養

主な栄養欠乏

	Micro Nutrient Deficiency (微量栄養素不足)				Macro Nutrient Deficiency (主要栄養素不足)	
栄養素	<u>ヨウ素</u>	<u>鉄</u>	<u>ビタミンA</u>	<u>亜鉛</u>	<u>タンパク質</u>	<u>エネルギー</u>
症状	クレチン症 甲状腺腫	貧血	夜盲症	下痢	クワシオルコル	マラスムス
影響	<u>精神遅滞</u>		<u>免疫力の低下</u>		<u>成長障害(Stunting Wastingなど)</u>	

1つの栄養素の欠乏症から起こる症状は当然1つだけには限られない。上の図は代表的な栄養素不足とその症状との関係を簡単に図式したものである。1つの栄養素欠乏から複数の症状が出る事もあれば、1つの症状が実は複数の栄養素不足が関わっている可能性ももちろん考えられる。

エネルギー・タンパク質(主要栄養素)欠乏



Source: London School of Hygiene and Tropical Medicine

(http://conflict.lshtm.ac.uk/page_115.htm)

正常状態

Wasting
やせ細っている

Stunting
身長がのびない

Wasting/Stunting
身長も体重も
通常より低い

エネルギー・タンパク質欠乏症

- ・エネルギー欠乏症とタンパク質欠乏症は同様のものとみられることもあるが、必ずしも一致するものではない。エネルギーとは炭水化物・脂質・タンパク質全体の総量をさすため、必ずしもタンパク質不足と同じということはない。もっとも基本的には同時に発生するので違いに注意する必要はない。
- ・代表的な状態は上の図にあるWastingとStuntingに大きく区別される。Wastingは体重が通常より軽くやせ細っている状態で、急性栄養失調の指標となっている。一方で、Stuntingは身長が通常より低く、発育不良が起きている状態をあらわし、慢性的な栄養失調の指標となっている。
- ・またこの他にも、エネルギー・タンパク質不足はマラスムス(Marasmus)と呼ばれる、皮膚のたるみ(old man's appearance)を引き起こしたり、クワシオルコル(Kwashiorkor)と呼ばれる、浮腫(oedema)、毛髪の変質、皮膚の潰瘍化(skin lesion)などが伴うことがあり、これらは急性栄養失調の臨床的症状の1つと考えられる。

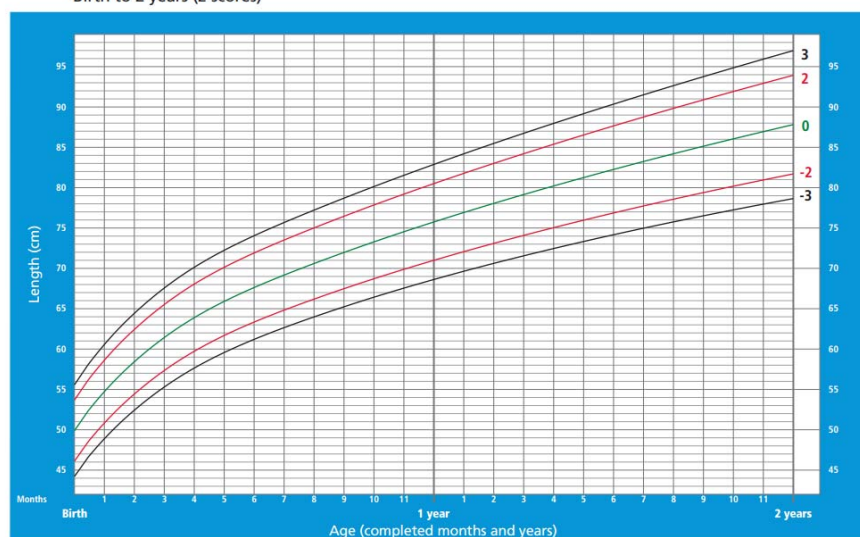
エネルギー・タンパク質欠乏の主要な指標と評価方法

評価	指標
Wasting	Weight for Height (W/H)
Stunting	Height for Age (H/A) or Length for Age (L/A) if child <24months or <85cm
Underweight	Weight for Age (W/A)

これらの評価は基本的にはそれぞれの子供の年齢において、 $-2SD$ を基準として評価する。さらにその中でも $-3SD$ のものについては「重度 (Severe)」と判定される。

Length-for-age BOYS

Birth to 2 years (z-scores)



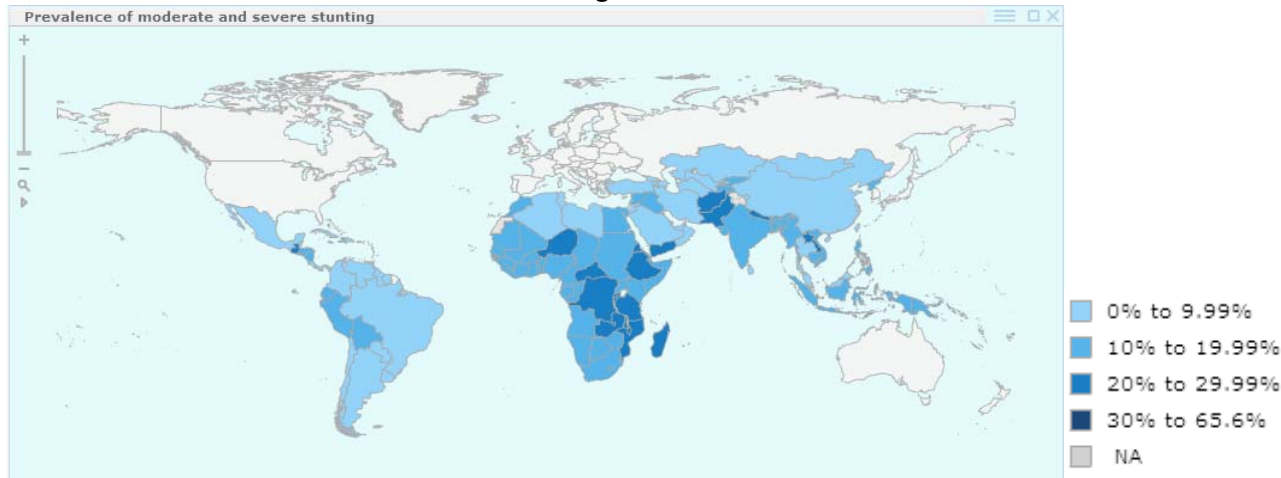
WHO Child Growth Standards

The WHO growth standards (length for age : BOYS)

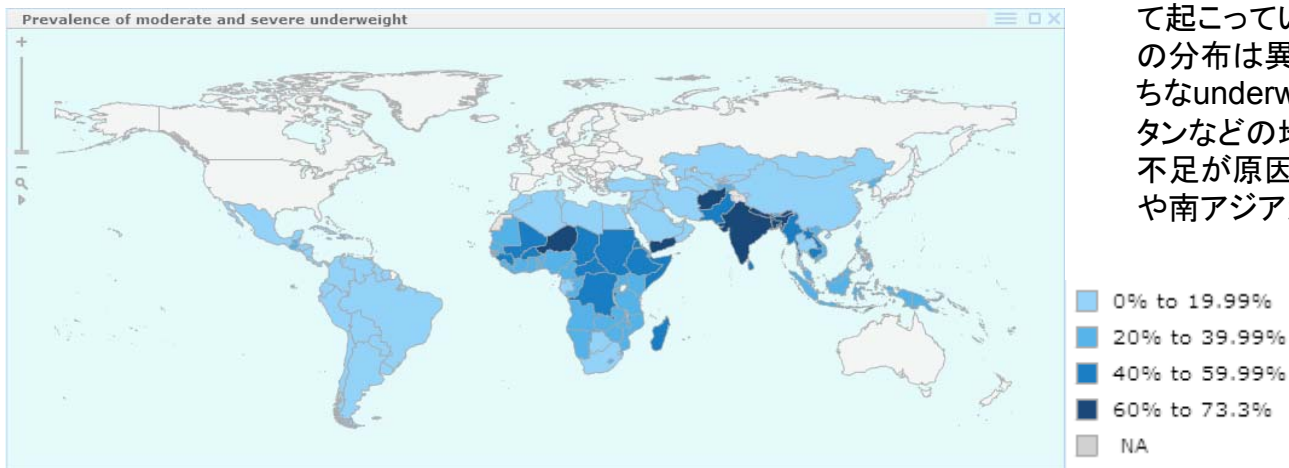
Source: WHO (<http://www.who.int/childgrowth/standards/en/>)

エネルギー・タンパク質欠乏の分布

Prevalence of moderate and severe underweight



Prevalence of moderate and severe stunting



栄養失調は主にアフリカ、アジア、南米地域に集中して起こっている。しかし栄養失調の種類によってもその分布は異なり、急性的な栄養不足が原因となりがちなunderweightはアフリカ中南部・イラク・アフガニスタンなどの地域が中心であるのに対し、慢性的な栄養不足が原因となりうるstuntingはサブサハラアフリカや南アジアが中心である。

Source: Imperial college London School of Public Health

(<http://www1.imperial.ac.uk/publichealth/departments/ebs/projects/eresh/majidezzati/healthmetrics/childmaternalundernutrition/>)

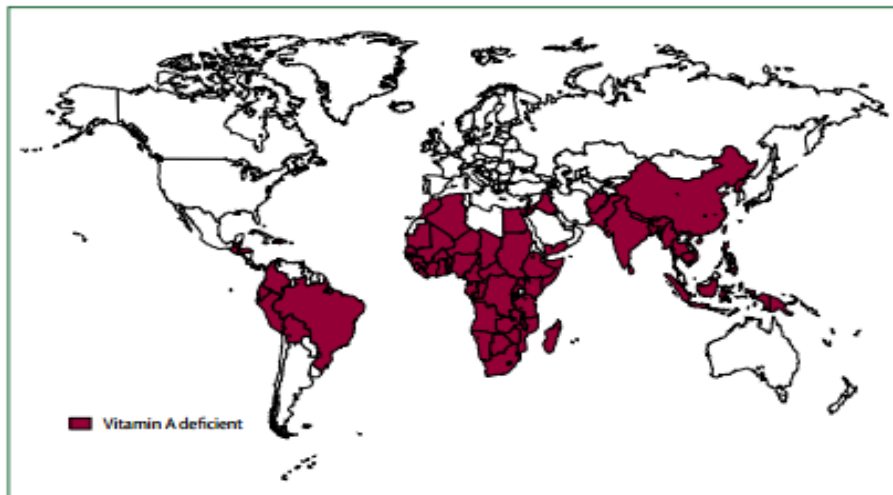
微量栄養素欠乏(ビタミンA)

ビタミンA

- ・ビタミンA欠乏症は欠乏症になりやすい栄養素のなかでは最も代表的なものの1つである。ビタミンAは網膜における感光物質の構成分子であり、視覚における重要な機能を担う。そのためビタミンA欠乏症では、眼にその症状があらわれることが多い。

症状

- ・代表的な症状としては、夜盲症があり、重篤な場合には失明に至る。また妊娠女性においては妊娠合併症のリスクの増加につながりうる。ビタミンAは基本的には血液中ではレチノールの形であるので、血中レチノール濃度を用いて、診断を行う。
- ・またビタミンAの適切な摂取は麻疹による死亡率の減少につながる事も指摘されている。



分布

- ・アフリカ中南部や南アジアにひろくその分布が見られる。日本ではむしろビタミンAは豊富に摂取されやすく、むしろビタミンAの過剰摂取に注意する必要性が指摘されている。

Prevalence of Vitamin A Deficiency Under 5 Children Source: Lancet (2008)

微量栄養素欠乏(ヨード)

ヨード(ヨウ素)

- ・ヨウ素は甲状腺ホルモンの構成要素として重要な役割を生体内で担う。甲状腺ホルモンは乳幼児の成長において特に不可欠である。

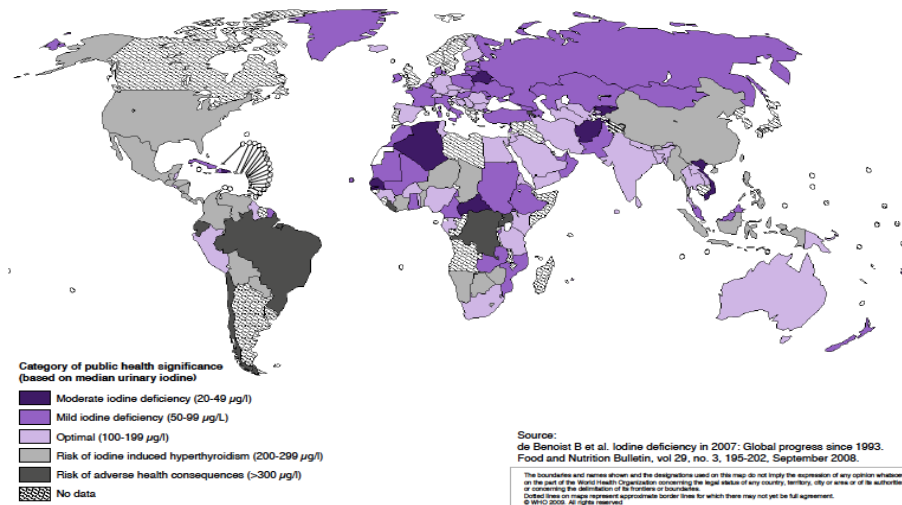
症状

- ・甲状腺ホルモンの欠乏は身体発達障害のみならず 重大な知的発達障害にもつながる。またヨウ素不足による代償性の甲状腺肥大はヨウ素不足のプロキシである。

原因

- ・単純に食料不足からヨウ素が不足するという可能性と、そもそも土壤に含まれるヨウ素の量が少ないために、摂取する食物中に含まれるヨウ素量が少なくなってしまう、十分な食料を取っていたとしても、ヨウ素だけが不足してしまうということも多い。

Degree of public health significance of iodine nutrition based on median urinary iodine: 1993-2006



分布

- ・左図において紫色が濃くなるほど、ヨウ素が不足しており、黒色が濃くなるほどヨウ素が過剰になっている地域である。
- ・ヨウ素不足は世界中で報告されており、先進国ではヨード強化塩による対策がとられている。

Prevalence of Iodine Deficiency Source: WHO (2008)

微量栄養素欠乏(鉄)

鉄

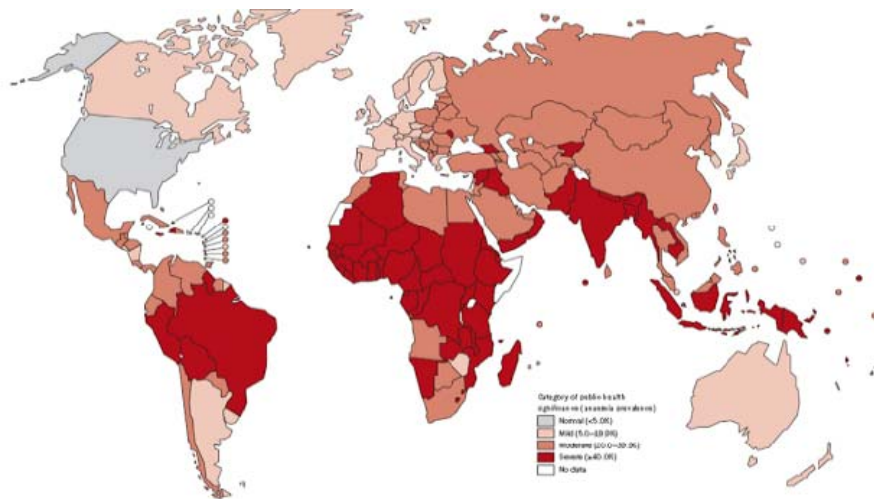
- 鉄は血液中のヘモグロビンやその他の酵素において重要な構成分子である。鉄はカルシウムや繊維などにより吸収阻害がおこるため、乳幼児の場合はカルシウム含有量の少ない母乳が牛乳より好ましい。

症状

- 代表的な症状は鉄欠乏性の貧血である。またスプーンネイルとよばれる、爪が曲がる症状もみられる事が多い。その他にも食欲不振や体重減少、成長障害などの症状もみられる。特に妊娠中の女性では、死亡率増加、免疫力低下、未熟児出産の増加など、影響が大きい。

原因

- 食事中的鉄摂取不足だけでなく、マラリアなどの寄生虫による血液の損失が原因となる。



分布

- 左図において赤色が濃くなるほど、深刻な貧血症状を有する学童期の子供たちが分布していることを示している。
- アフリカ全域、インドを中心とする南アジア全域、中南米地域で特に深刻な鉄欠乏症が分布している事がわかる。

Prevalence of Iron Deficiency Source: WHO (2008)

微量栄養素欠乏(亜鉛)

亜鉛

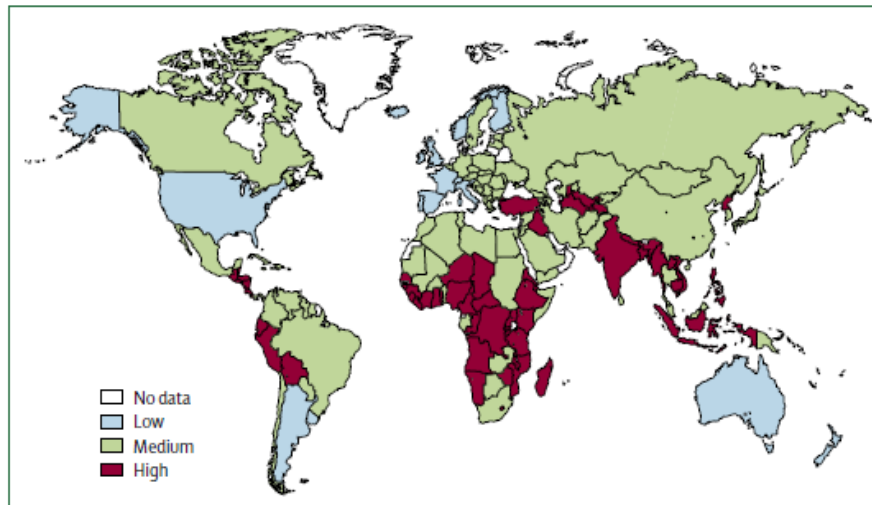
- ・亜鉛はタンパク質、ホルモン、細胞レセプター、赤血球の脱水素酵素など、生体内において細胞内のシグナル伝達、酵素反応の多くにおいて重要な役割を担っている。

症状

- ・酵素反応など様々な体内動態に関係する事から、そのアウトカムも様々であり、免疫力低下や子供の成長遅延(低身長)、低体重児の増加、妊娠時の合併症などが挙げられる。
- ・また亜鉛の補給が下痢症の低下にもつながることが報告されることから、途上国で蔓延している下痢症の原因の1つともいえる。

原因

- ・基本的には亜鉛を含む食べ物の不足が原因となる。



分布

- ・左図において赤色の地域が亜鉛欠乏症が高い頻度で分布している地域である。サブサハラアフリカやインドを中心とした南アジア地域が含まれる。
- ・その他の欠乏症と比べると分布している地域は少ないものの、緑の地域も中程度で亜鉛欠乏症が分布している地域であり、こちらを含めるとアジア・ヨーロッパを含めた広い地域に分布している。

^f Prevalence of Zinc Deficiency Under 5 Children Source: Lancet (2008)

1. 栄養失調の概要

- 栄養失調の定義
- 栄養失調の影響
- 栄養問題とMDGs
- 栄養を考える視点

1. 主な栄養失調の種類

- 主要栄養素(エネルギー・タンパク質)欠乏
- 微量栄養素欠乏

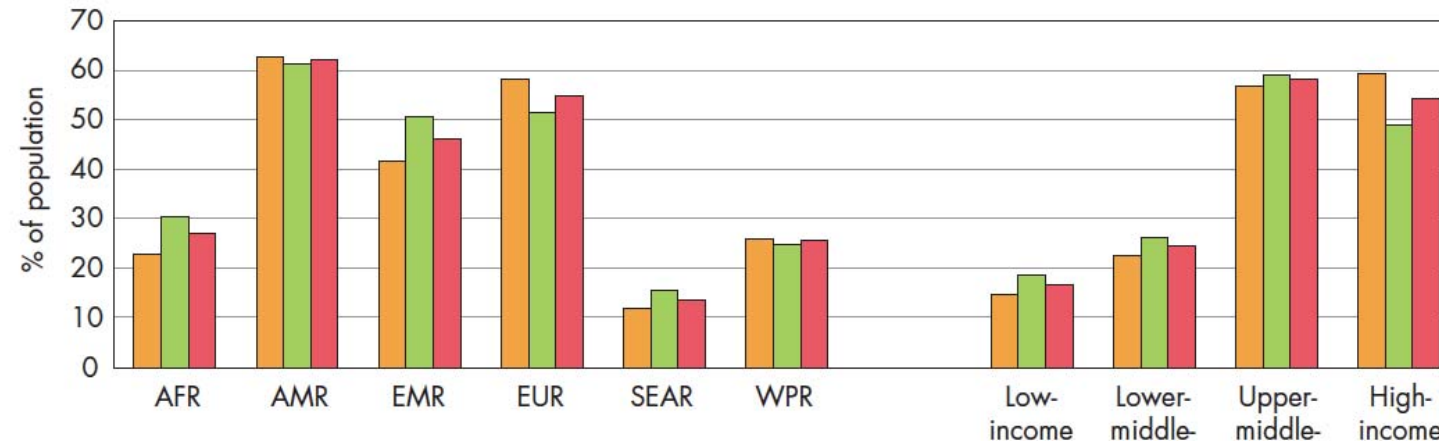
2. 栄養失調のさらなる展開

- 新しい栄養失調—肥満と生活習慣病—
- 世代を超えた栄養失調の影響
- 腸内細菌と栄養

栄養失調のもう1つの課題—肥満と生活習慣病—

20歳以上の成人に占める過体重(BMI > 25)の割合

Men Women Both sexes



Source: WHO (2011)

過体重と肥満

◎統計

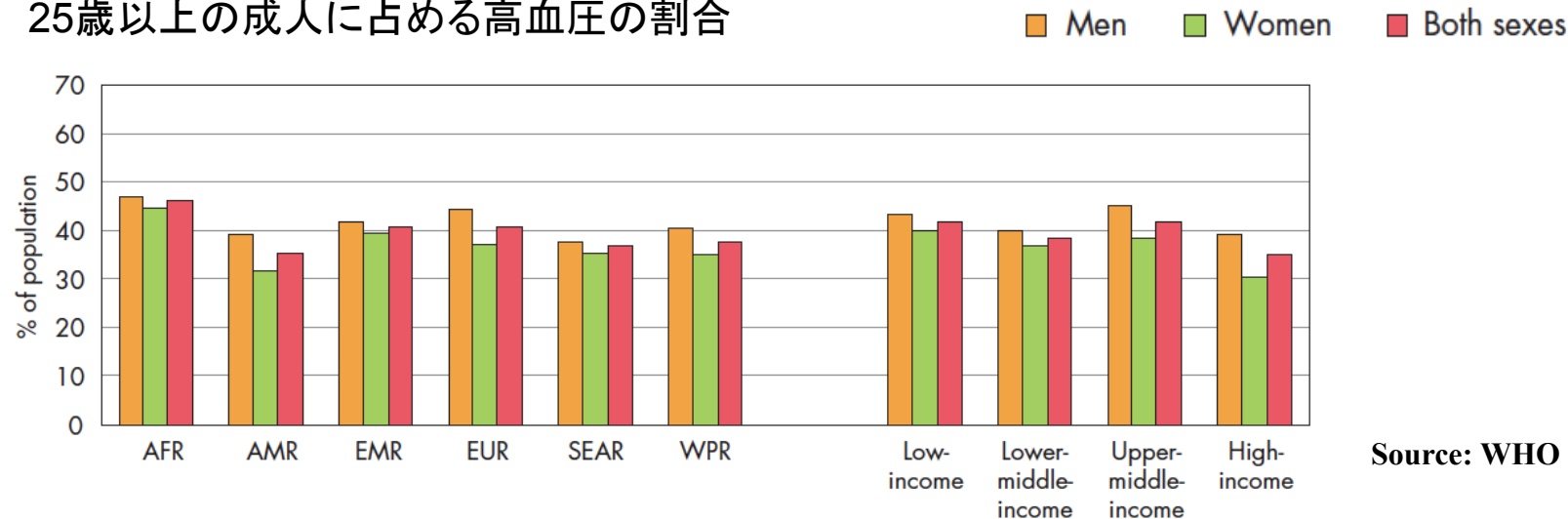
- ・1年に280万人が過体重や肥満が原因で死亡しており、世界全体の障害調整年数(DALY)の2.3%を占める。
- ・また過体重や肥満は高血圧や高コレステロールなどを引き起こし、結果として糖尿病や循環器系の疾病(心筋梗塞など)、ガンなどを引き起こす。
- ・上の図からもわかるとおり、過体重や肥満は既に先進国のものではなく、アフリカや太平洋島嶼国などの発展途上国においても大きな問題となっている

◎原因

- ・原因としては食生活の変化や身体活動量の低下があげられる。

栄養失調のもう1つの課題—肥満と生活習慣病—

25歳以上の成人に占める高血圧の割合



Source: WHO (2011)

高血圧

◎統計

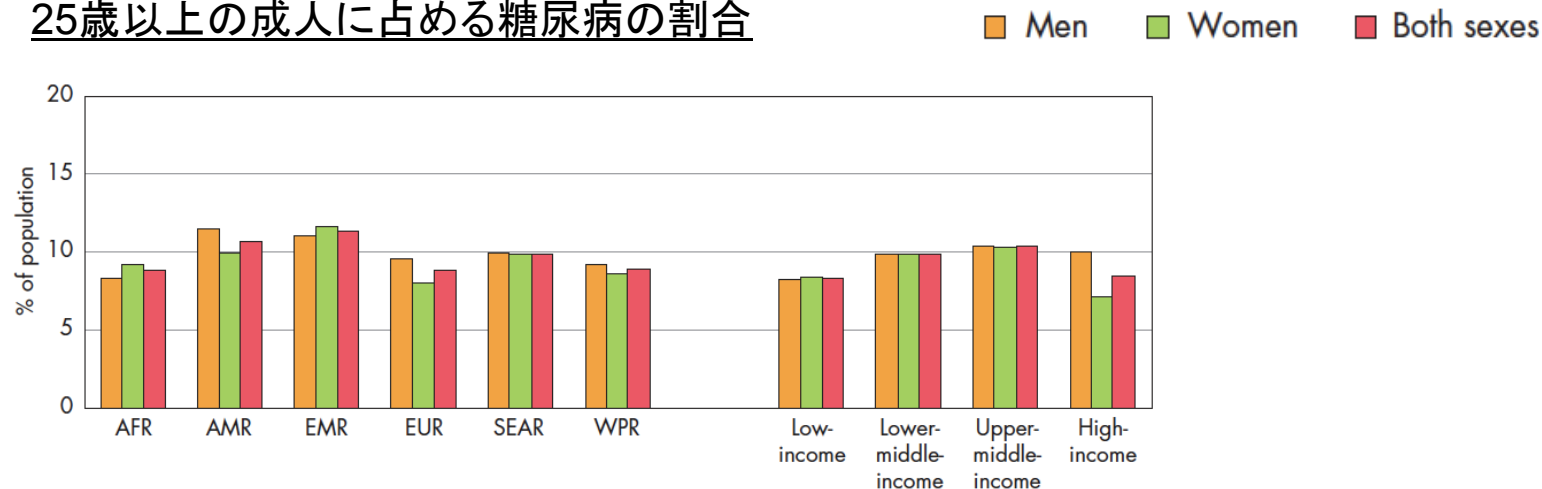
- ・1年に750万人が過体重や肥満が原因で死亡しており、世界全体の障害調整年数(DALY)の3.7%を占める。
- ・結果として心筋梗塞や脳血管障害などの循環器系の疾病リスクを上げる。
- ・上の図からもわかるとおり、過体重や肥満と同様に、高血圧は先進国・発展途上国に関わらず人口の多くが罹患している。ややもすると健康ブームが到来している先進国よりむしろ発展途上国のほうが割合が大きい。

◎原因

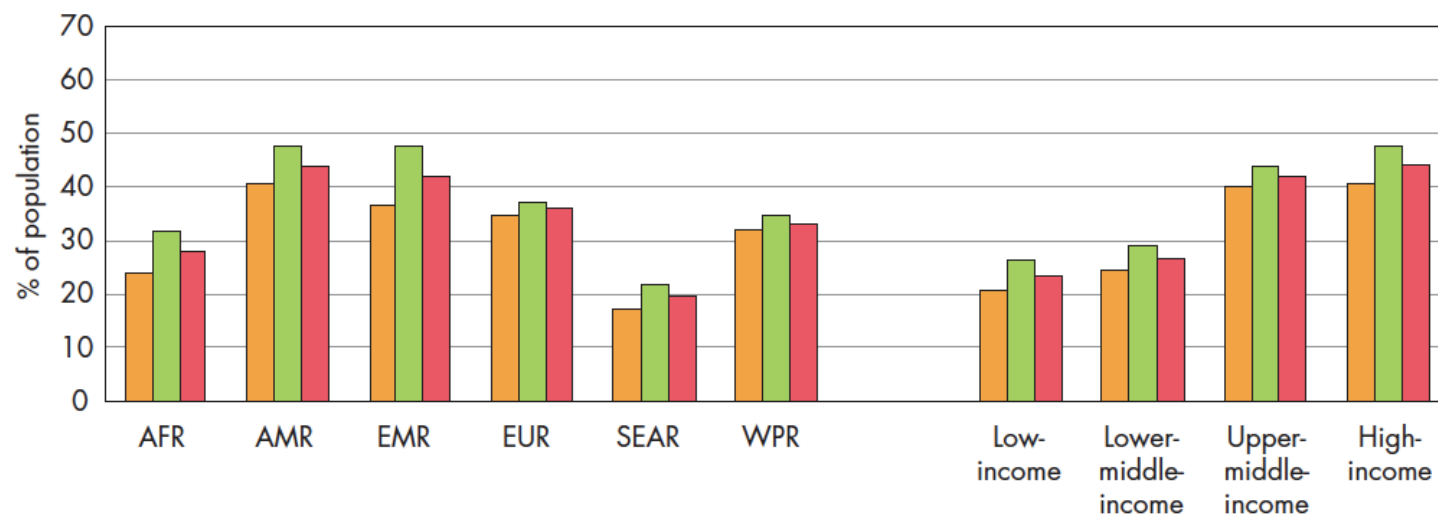
- ・主な原因は食生活。塩分過多や野菜や果物の摂取量の減少などがその原因。

栄養失調のもう1つの課題—肥満と生活習慣病(参考)—

25歳以上の成人に占める糖尿病の割合



25歳以上の成人に占める運動不足の人口の割合



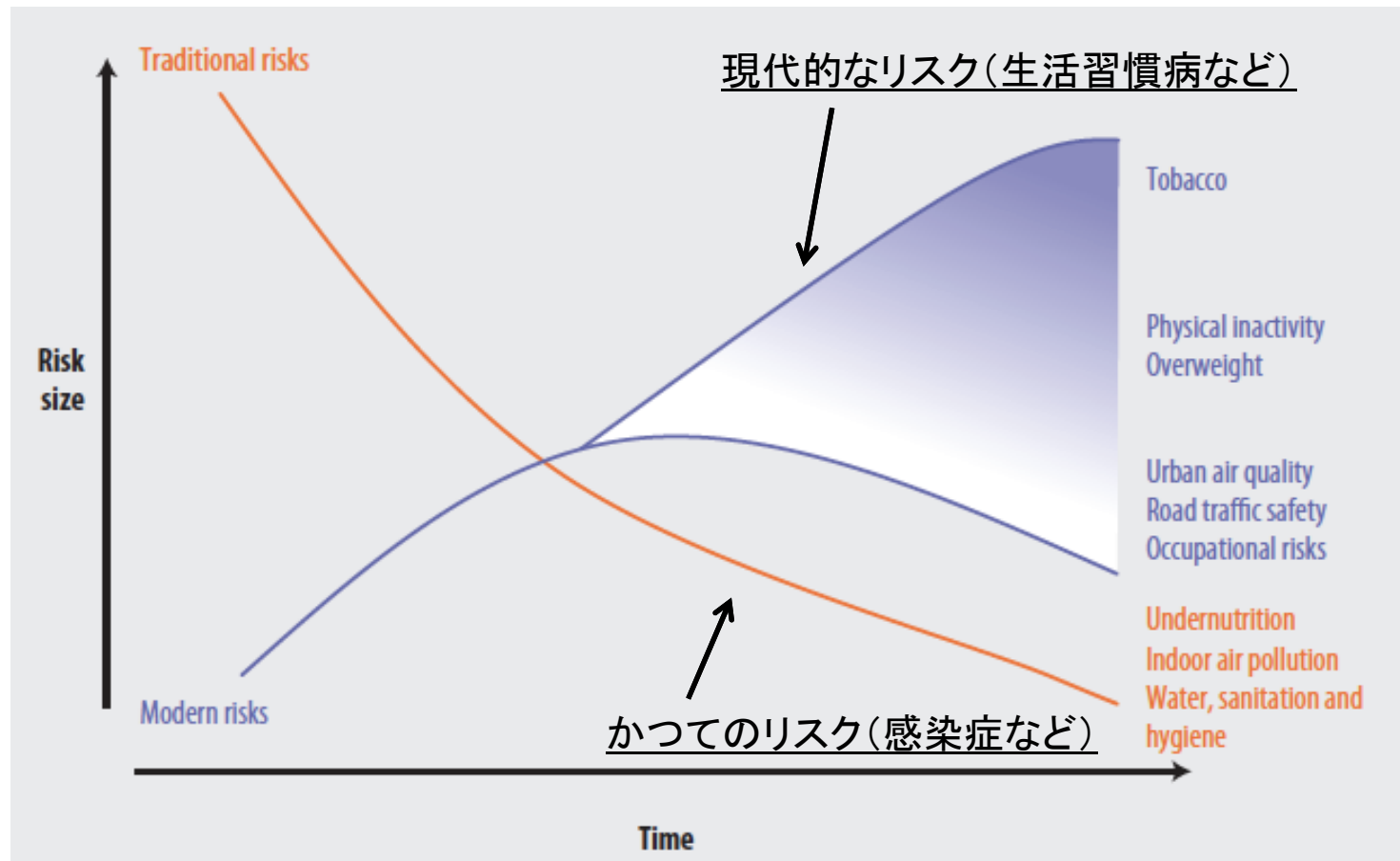
Source: WHO (2011)

栄養失調のもう1つの課題—肥満と生活習慣病(参考)—

疫学転換 (Risk Transition):

現在はタバコや大気汚染生活習慣病などの現代的なリスクが感染症などのかつてのリスクを上回るようになっている。

Source: WHO (2009)



世代を超えた影響(DOHaD仮説)

DOHaD仮説 (Developmental Origins of Health and Diseases)

「**受精期、胎芽期、胎児期の子宮内及び乳幼児期の望ましくない環境がエピゲノム変化を引き起こし、それが疾病素因となり、出生後の環境との相互作用によって生活習慣病などの疾病が発症する。**」

- ・ もともとは1980年代にイギリスのBraker教授により成人疾患胎児起源説(バーカー仮説)。
その中で、胎児期～幼少期の栄養状態出生後の健康アウトカムに強い影響を及ぼす事が示唆された。
- ・ その後様々なコホート研究の結果や理論的な発展を遂げて生まれたものが、DOHaD仮説とよばれる。

例) 低出生体重児の影響

背景因子

- 遺伝異常
- 胎児異常
- 早産、多胎
- 母体のやせ
- **母体の低栄養**
- 母体疾患
など



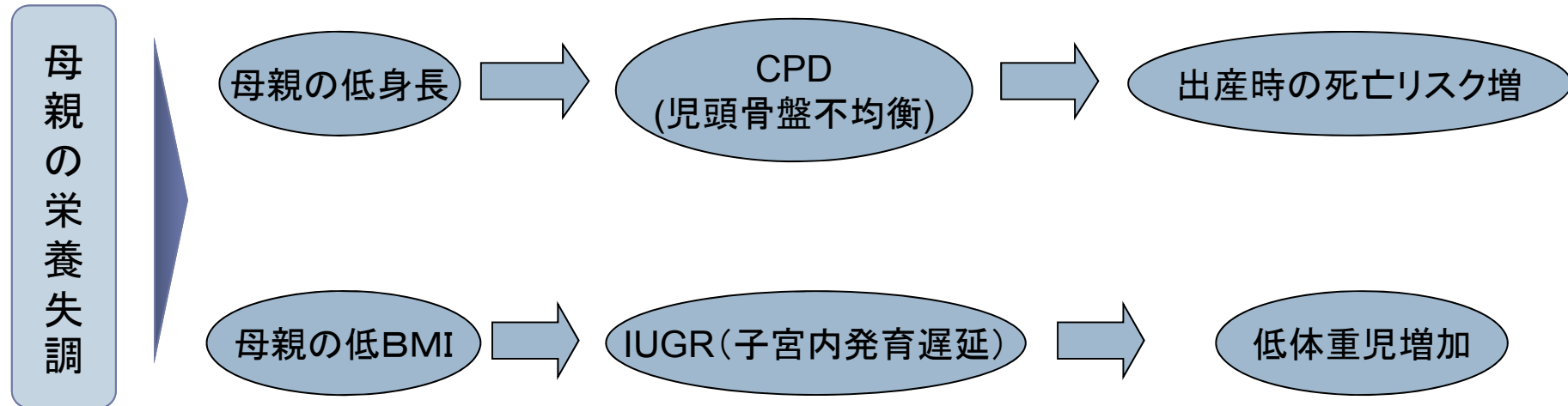
低出生体重児



代謝系疾患の発症 心血管障害リスクの増加

- 肥満
- インスリン異常
- 高脂血症
- 高血圧

母親の栄養失調の世代を超えた影響



母体の栄養失調の影響

- ・母体が低身長の場合、児頭骨盤不均衡(CephaloPelvicDisproportion:CPD)により物理的に通常の出産が困難であり帝王切開などの手段が必要となる。しかし途上国においてはインフラや衛生的な問題から、母体・乳児ともにリスクにさらされる。
- ・また母親の栄養失調は、乳幼児の子宮内での発育遅延をもたらし、新生児・乳幼児期における死亡リスクを増加させる。
- ・小児期の栄養失調の予防、負のスパイラルを防ぐには、母親の栄養失調の改善も重要

腸内細菌と栄養

腸内細菌

- 人間の腸内には様々な細菌が生息しており、特に大腸においては100種類以上、100兆個にも及ぶ腸内フローラがある。代表的なものでは、健康にいい影響を与えるビフィズス菌や乳酸菌などの善玉菌やブドウ球菌や大腸菌など健康に悪影響を与えるものも存在している。
- その腸内細菌は栄養の吸収や代謝と関係しており、また食事やストレスなど様々な外部要因によっても影響を受けることから近年注目が高まっている。

Science (2013) “Gut Microbiomes of Malawian Twin Pairs Discordant for Kwashiorkor”

- その一連の研究の中で2013年にサイエンスにおいて、腸内細菌が栄養失調と関連がある事を示した論文がワシントン大学の研究チームによって報告された。
- 片方が栄養失調、もう片方が健康な双子の子供の腸内細菌を用いた実験を通して、食事だけでなく、体内細菌の違いも栄養失調に影響を与える事を確認した。

◆ 今後、腸内細菌と栄養の分野の研究はさらに進展するとみられるため、注目する必要がある。

Source: 厚生労働省 e-ヘルスネット (<http://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/food/e-05-003.html>)

M I Smith *et al.* (2013) (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23363771>)

(日本語では、http://www.eurekalert.org/pub_releases/translations/sci020113jp.pdfに概略)