

気候変動が栄養供給に与える影響の世界食料モデル分析
—アフリカ地域の栄養素供給の推移—

国際農林水産業研究センター 古家 淳

概要

気候変動の影響評価のために、長期予測が可能な世界食料モデルを開発した。モデルが対象とする財は、コメ、小麦、トウモロコシ、他穀類、大豆、他油糧作物、大豆油、他植物油、大豆粕、他植物粕、牛肉、羊肉、豚肉、鳥肉、他畜肉、鳥卵、生乳、脱脂粉乳、バター、チーズの 20 品目である。また、対象国・地域は、GTAP9 に準じて 140 カ国である。

主となる関数は、収量関数あるいは 1 頭あたり生産量関数、作付面積関数あるいは頭数関数、純輸出関数、在庫変化量関数、需要関数であり、畜産物の場合は、飼料需要関数が含まれる。これらの関数に必要なパラメータを得るために、生産関数を Cobb-Douglas 型に特定化した農産物および最終食料消費財の生産者の利潤最大化問題を設定し、供給関数と要素需要関数を導出した。供給の価格弾力性および需要の自己および交差価格弾力性は、生産額に対する費用比率を用いて計算した。なお、需要の所得弾力性は、長期予測に対応するために、所得増加に従って減少するように設定している。

価格や数量など発射台のデータは、FAO-STAT の Commodity balance の値であり、予測に用いたデータは、4 つの RCP シナリオの中の RCP6.0 の MIROC5 の気候予測値と、5 つの SSP シナリオの中の SSP2 の人口と GDP の予測値である。ここで、比較のために、発射台時点から気候変数に変化しないとするシナリオも加えた。

それぞれのシナリオにおける各農産物の一人あたり供給量を 2060 年まで求め、WFP の換算表を用いてそれらを栄養素に分解し、各栄養素について合計した。栄養不良が問題となるアフリカ地域を対象に、まず、それを栄養素所要量と比較し、栄養素ごとに不足となる地域を明らかにした。次に、気候変動が各栄養素供給に与える影響を示した。最後に、それらの結果を基に、今後供給不足が問題となる栄養素をまとめた。

A world food model analysis of impact of climate change on nutrition supply:
Changes in supply of nutrition elements in Africa

Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Jun Furuya

Abstract

A long-run world food model is developed for evaluating impact of climate change on food supply. This model covers 20 agricultural commodities i.e., four cereals, two oil crops, two vegetable oils, two cakes, five meats, egg, and four dairy products, and 140 country or regions.

The model consists of yield, area or head, net exports, stock change, and demand functions. The parameters for these functions are calculated using cost shares of producers. The data of quantity and price are numbers of the FAO-STAT. Simulations are conducted based on the four RCP scenarios and five SSP scenarios.

Outlooks of per supplies of the goods by 2060 are obtained from the model under the RCP and the SSP scenarios. These per capita supply of the agricultural commodities are changed to each nutrition element and these elements are compared to the requirement level. Furthermore, impacts of climate change on the nutrition supply are investigated. From these results, nutrition elements which tends to scarce in future are indicated.

気候変動が栄養供給に与える影響の世界食料モデル分析
-アフリカ地域の栄養素供給の推移-

国際農林水産業研究センター 古家 淳

1. はじめに

FAO の食料不安を示す指数である FIES (Food Insecurity Experienced Scale)は、15 歳以上の世界人口のうちおよそ 7.5%が 2014 年において厳しい飢餓状態に直面し、中でもサハラ以南のアフリカ(SSA)地域では 26%、1 億 5 千万人が飢餓を経験したことを示した(FAO 2017 [1])。飢餓だけが問題ではなく、慢性的な栄養不良が問題であり、世界全体では 5 歳以下の子供の 5200 万人が衰弱し、1 億 5500 万人が成長不良にある(FAO et al. 2017 [2])。FAO の栄養不足蔓延指標(Prevalence of malnutrition, PoU, FAO et al. 2019 [3])をアフリカにおいて見ると、SSA 地域では 1999 年の 28.5%から 2012 年の 20.8%まで低下したが、2013 年以降は上昇傾向にある。これは、紛争や気候変動の影響と考えられる。SSA 地域の子供など弱者への安定的な栄養供給は喫緊の課題である。

本研究では、将来において、どの国・地域において栄養の供給が必要であるか、栄養素別に明らかにすることを目的とする。また、気候変動が、どの国・地域の各栄養素の供給に与える影響を明らかにすることも目的とする。そのため、気候変動の影響予測が可能であり、アフリカなど多くの国の分析が可能な世界食料モデルを用いて、栄養素供給の将来予測を行う。その結果から、栄養バランスを確保するために必要な方策を考察する。

2. モデル

国際農林水産業研究センターの世界食料モデルである IFPSIM(Oga & Yanagishima 1996 [7])は、32 カ国・地域、14 財を対象に構築され、農水省の食料需給見通しの作成などに用いられた。現在は、農林水産政策研究所がその維持・改良を引き継ぎ、対象とする財の数は 20 まで拡大した。また、このモデルは、開発者により国際食料政策研究所(IFPRI)に伝えられ、IMPACT という名のモデルとして多くの財を対象とし、また、水循環や作物のモデルと組み合わせて用いられている。

本研究では、IFPSIM あるいは IMPACT と同一の方程式体系を保ちつつ、かつ、多数の途上国を対象とするように供給や需要の価格弾力性を新たに算出して加えたモデルを用いる。このモデルでは、気候変動の影響が把握できるように、FAO の GAEZ (Global Agro-Ecological Zone)で用いられた Fischer et al. (2012) [4]の作物モデルから、気温あるいは日射量に対する各作物収量の傾きを求め、それを収量関数に組み込んだ(Furuya et al. 2015 [6])。

図 1 には、例として、日本における栽培日数、葉面積指数、日射量などの平均値を用いて、ジャポニカ米の気温と収量の関係を示した。この例では、23°C 程度までは気温が上昇すると収量が増加するが、その値を超えると収量が減少する。このような傾きが気候変数の大きさに従って変化する関係を収量関数に組み込み、長期の予測を可能とした。

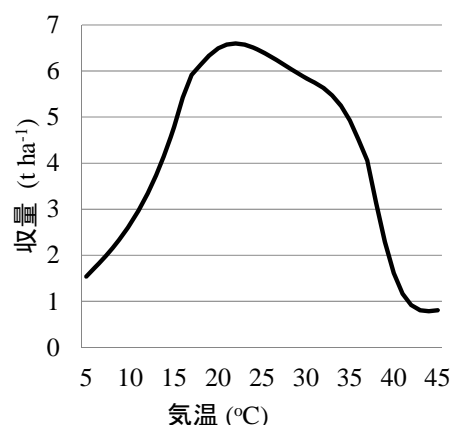


図 1 気温に対するジャポニカ米の収量の変化

主となる関数は、収量関数、作付面積関数あるいは屠殺頭数関数、純輸出関数、在庫変化量関数、需要関数であり、作付面積あるいは頭数関数は供給関数に相当する。価格リーダー国において需給が均衡し、また、各国の純輸出量の合計がゼロとなるように計算される。モデルの対象とする財は、穀類 4 財、油糧種子 2 財、植物油 2 財、油

粕2財、肉類5財、卵1財、酪農製品4財の計20財であり、対象国数は140である。

3. データ

収量関数の推定、および発射台データの作成に用いたデータは、FAO-STATのCommodity balanceの値である。ここで、価格はFAO-STATの生産者価格の米ドル(USD)の値であり、データが存在しない場合は、近隣の国の値を用いた。気候データの実測値は、イーストアングリア大学CRUの値であり、気候予測値は、全球気候モデルであるMIROC5の各RCPの値である。それぞれ、Yokozawa et al. (2003) [9]に従ってグリッドデータから国あるいは生産地域の平均値を計算した。ここで、生産地域は、Furuya & Koyama (2005) [5]で定義された地域に従った。GDPと人口の予測値は、OECDの各SSPの値である。

栄養素の計算に用いる換算表と最低必要量の値は、穀類および肉類についてはWFPの値であり、酪農製品については我が国の文科省の値である。表1に農産物100g当たり栄養素含有量、表2に一日栄養素必要量を示す。

表1 栄養素成分表

栄養素	エネルギー	タンパク質	脂質	亜鉛	鉄	ヨウ素	ビタミンA	チアミン	リボフラビン	ナイアシン	ビタミンB6	ビタミンB9	ビタミンB12	ビタミンC
単位	kcal	g	g	mg	mg	μg	μg	mg	mg	mg	mg	μg	μg	mg
RI	332	6.7	0.4	1.30	0.8	0.0	0.0	0.11	0.03	1.3	0.30	11.8	0.00	0.0
WH	339	13.7	1.9	2.93	3.9	0.0	0.0	0.45	0.22	6.4	0.34	0.0	0.00	0.0
MZ	355	9.2	3.8	2.21	2.4	0.0	62.0	0.36	0.20	1.5	0.62	0.0	0.00	0.0
XG	337	10.0	1.6	0.00	17.9	0.0	0.0	0.36	0.10	8.1	0.00	0.0	0.00	0.0
SB	407	36.9	19.1	4.30	6.9	0.0	2.0	0.99	0.52	2.5	0.38	217.7	0.00	0.0
XS	598	29.0	50.0	3.90	3.5	0.0	0.0	0.16	0.08	14.0	0.54	38.8	0.00	0.0
OS	899	0.0	99.9	0.00	0.1	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
OX	899	0.0	99.9	0.00	0.1	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
BF	204	14.6	15.7	4.12	1.9	0.0	0.0	0.04	0.16	3.8	0.21	0.0	2.05	0.0
SH	293	17.0	25.0	3.13	2.0	7.0	12.0	0.12	0.10	3.6	0.23	1.8	1.00	0.0
PK	221	15.4	17.2	2.28	0.9	0.0	2.0	0.67	0.21	4.0	0.35	0.0	0.64	0.6
PM	171	19.0	10.6	1.10	0.6	8.0	0.0	0.08	0.14	5.0	0.30	5.3	0.00	0.0
XM	199	16.4	14.5	2.50	1.2	2.7	0.7	0.26	0.17	4.3	0.29	3.0	0.90	0.2
EG	128	12.4	8.7	1.20	1.5	53.0	225.0	0.09	0.30	0.1	0.12	29.4	2.50	0.0
MK	63	3.3	3.6	0.30	0.2	15.0	40.0	0.04	0.19	0.1	0.04	0.6	0.20	1.0
SK	33	3.4	0.1	0.40	0.1	0.0	0.0	0.04	0.15	0.1	0.04	0.0	0.60	2.0
BT	725	0.0	81.0	0.09	0.2	38.0	714.0	0.01	0.02	0.2	0.00	0.0	0.17	0.0
CH	378	27.5	29.2	3.76	0.5	28.1	284.6	0.02	0.36	0.3	0.08	10.3	1.79	0.1

出所) WFP および文部科学省。

注) RI: コメ、WH: 小麦、MZ: トウモロコシ、XG: 他穀類、SB: 大豆、XS: 他油糧作物、OS: 大豆油、OX: 他植物油、BF: 牛肉、SH: 羊肉、PK: 豚肉、PM 鳥肉、XM 他畜肉、EG: 鳥卵、MK: 生乳、SK 脱脂粉乳、BT: バター、CH: チーズ。生産物100g当たりの値。

表2 成人一日栄養素必要量

栄養素	エネルギー	タンパク質	脂質	亜鉛	鉄	ヨウ素	ビタミンA	チアミン	リボフラビン	ナイアシン	ビタミンB6	ビタミンB9	ビタミンB12	ビタミンC
単位	kcal	g	g	mg	mg	μg	μg	mg	mg	mg	mg	μg	μg	mg
必要量	2100	52	40	12.3	22.0	150	500	0.9	1.4	12.0	1.1	160	0.9	28.0

出所) WFP。

4. シミュレーションの仮定

発射台のデータは、2006年から2010年まで移動させることが可能であり、本研究では、2010年の値を用いた。栄養素の必要量に対する供給量の分析では、気候データはRCP6.0、GDPと人口はSSP2の値を用いた。気候変動が栄養供給に与える影響の分析では、GDPと人口がSSP2に従い、2010年以降気候データに変化がないとするベースラインと、RCP6.0の供給量の差を示した。シミュレーションの実施期間は、2011年から2060年までである。

5. 結果

5.1 各栄養素の不足地域の推移

栄養素欠乏が問題となるアフリカ地域を対象に、主要栄養素であるタンパク質、微量栄養素である亜鉛と鉄、ビタミンB6とビタミンB9の供給量と所要量との乖離を2010年代、2030年代、2050年代の平均値について検討する。ここでの各栄養素の供給量は、モデルが対象としている20の財から得られるものであり、野菜、イモ類、果実、水産物からの栄養供給は含まれていない。しかしながら、主要栄養素の供給源の大半を占める穀類と肉類はモデルの対象財であり、示した図は、各栄養素の供給不足地域の推移の傾向を示すものである。

図2に、主要栄養素であるタンパク質の不足地域を示した。エネルギーあるいは炭水化物はほぼ同じ結果である。脂質の傾向も変わらないが、その供給量は2050年代において所要量の300%を超える国が多い。主要栄養素の供給状況は改善が見込まれ、一部の国では過剰な摂取の問題が予測される。

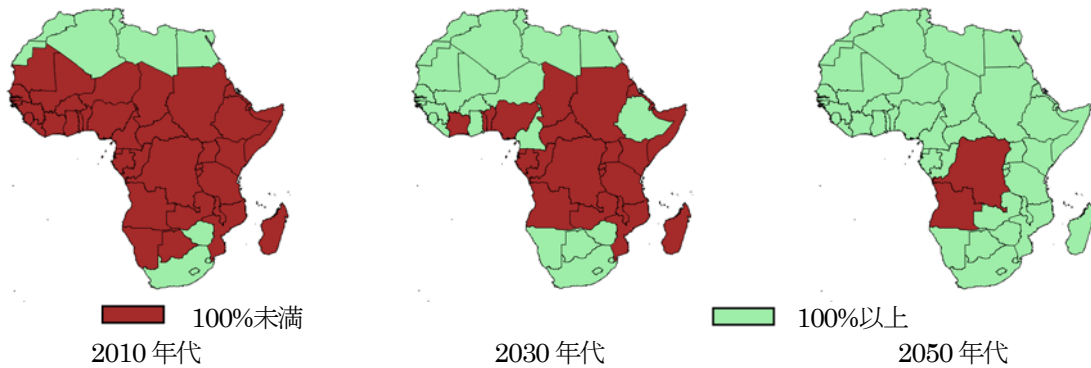


図2 タンパク質の供給不足地域の推移

図3と図4に、微量栄養素である亜鉛と鉄の不足地域を示した。亜鉛が不足すると味覚障害、皮膚炎、発育障害などの症状をきたし、鉄が不足すると貧血を引き起こす。サハラ以南のアフリカ地域において亜鉛の供給不足の解消は遅い。一方、同地域において、鉄の供給不足問題は早期に解決する傾向にある。しかしながら、アジア各国と同様に米食を主とするマダガスカルでは、2050年代においても鉄の供給が不足傾向である。

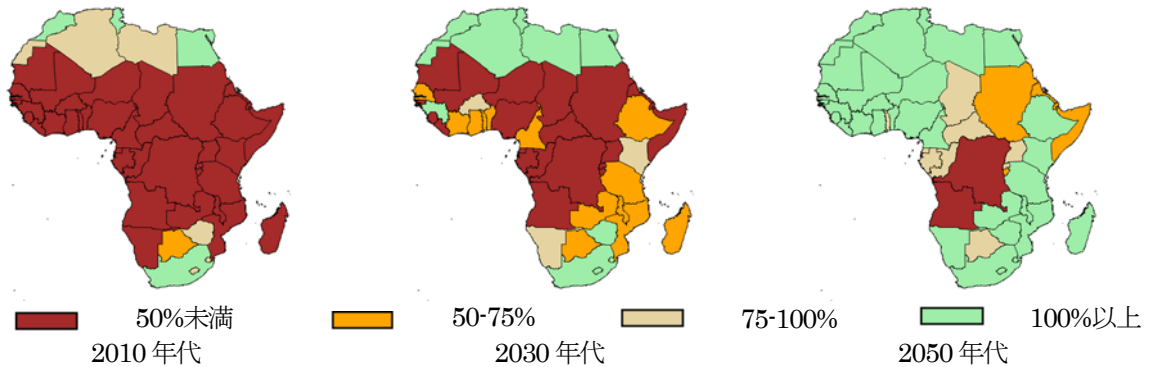


図3 亜鉛の供給不足地域の推移

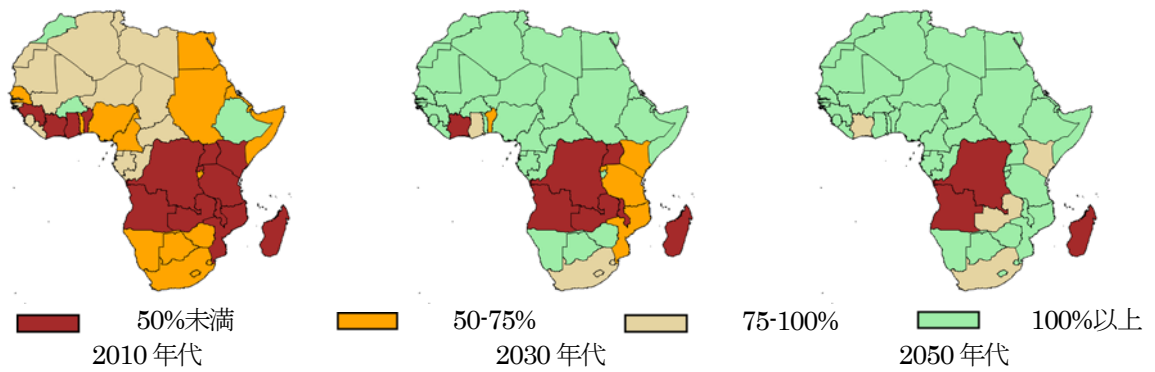


図4 鉄の供給不足地域の推移

図5と図6に、ビタミンB6とB9の不足地域を示した。ビタミンB6が不足すると皮膚炎や口内炎、貧血が生じる。ビタミンB9あるいは葉酸が不足すると貧血、免疫機能減衰が生じ、特に妊婦の摂取量が少ないと、胎児に先天性疾患を招く危険がある(渡辺1994[8])。ビタミンB6の供給不足は改善が見込まれるが、サハラ以南のアフリカ地域での供給不足解消には時間を要する。一方、ビタミンB9の不足地域は、2050年代においても広く、その供給が課題となる。なお、ビタミンAとCは、アフリカ地域で多く栽培されているイモ類に含まれるため、検討対象としなかった。

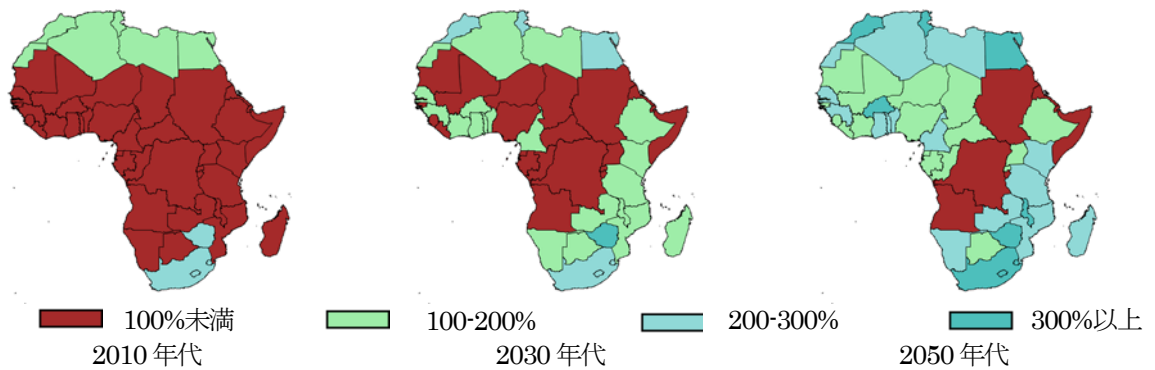


図5 ビタミンB6の供給不足地域の推移

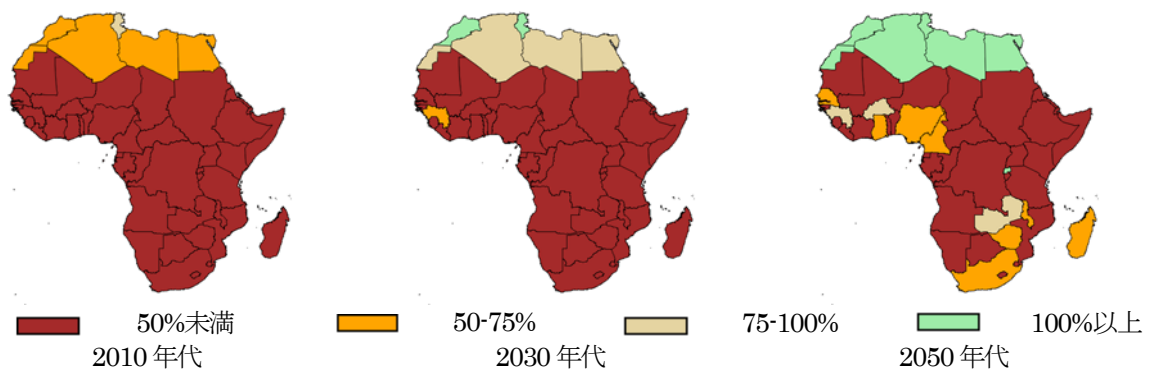


図6 ビタミンB9の供給不足地域の推移

5.2 気候変動が栄養素の供給に与える影響

気候変動がアフリカ地域の栄養供給に与える影響を分析するために、SSP2のGDPと人口の下で、気温、降水量、日射量がRCP6.0に従って変化する場合と、それらの気候変数が2009年-2011年の平均値のまま変化し

ないとする場合の 2050 年代における各栄養素の供給量の比較を行った。

図 7 に主要栄養素であるエネルギー、脂質、タンパク質の供給に対する気候変動の影響の大きな地域を示した。その傾向に大きな差は見られず、多くの国々において主要栄養素の供給は、気候変動により若干減少し、ナミビアとボツワナは相対的に大きな影響を受ける。

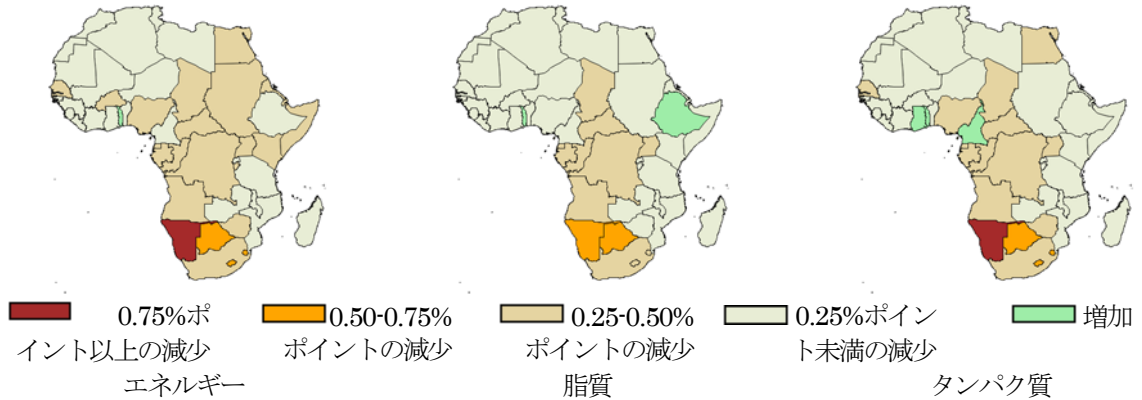


図 7 主要栄養素の供給に対する気候変動の影響

図 8 に微量栄養素である亜鉛、鉄、ヨウ素の供給に対する気候変動の影響を示す。鉄は、穀類生産が気候変動の影響を受けるために、すべての国で供給量が減少する。一方、畜産物に含まれるヨウ素は、多くの国々においての供給量が増加する。亜鉛は、気候変動の下で供給が減少する国と増加する国に分かれる。

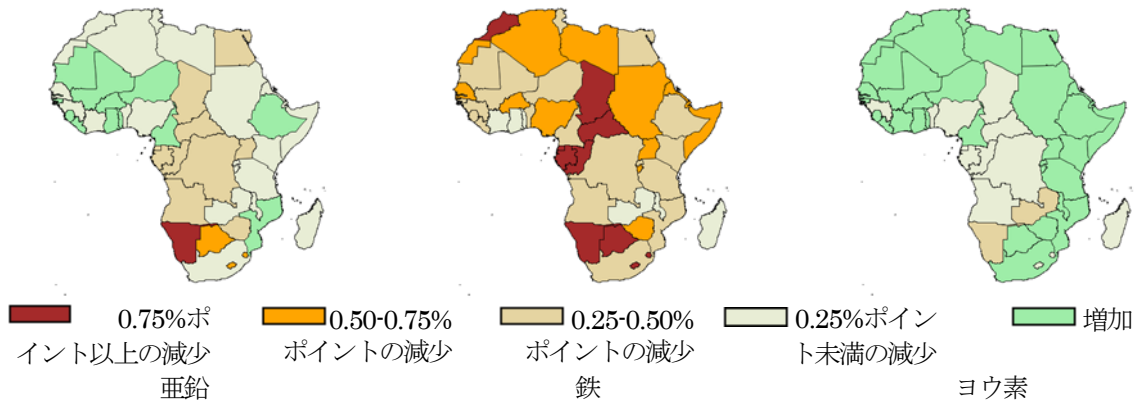


図 8 微量栄養素の供給に対する気候変動の影響

図 9 にビタミン類からチアミンとビタミン B6 および B9 の供給に対する気候変動の影響を示す。他のビタミンに比べてチアミンの供給は気候変動の影響を受けやすい。なおチアミンが不足すると食欲不振や脚気となる。

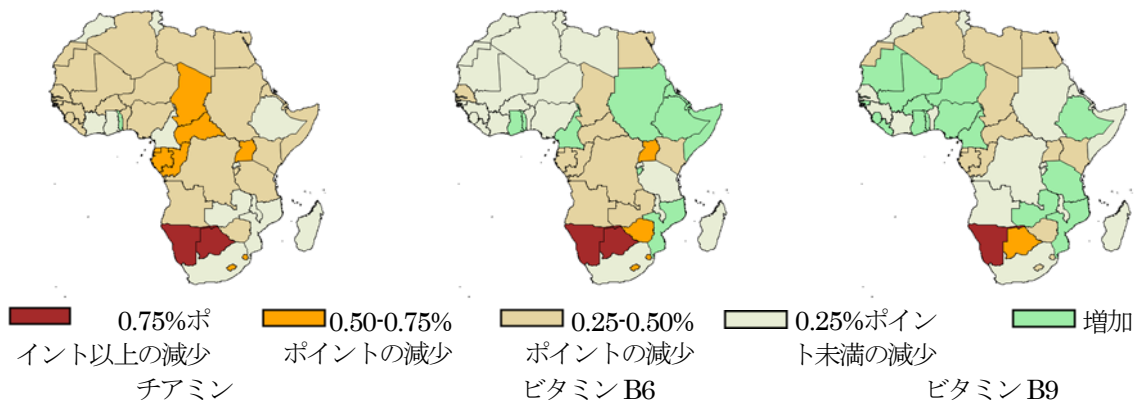


図 9 ビタミンの供給に対する気候変動の影響

6. 結論

20 の財と 140 カ国・地域を対象とする世界食料モデルを用い、各国各年の 18 の食用財の一人あたり供給量に栄養素換算表の値を乗じて各栄養素の供給量を算出し、2060 年までの栄養素別の供給量を求めた。特に栄養不足が問題となるアフリカ地域を対象に、栄養素供給の所要量に対する過不足と、気候変動が栄養素供給に与える影響を分析した。

その結果、主要栄養素の供給不足は、2050 年代までにほとんどの地域で解消するが、微量栄養素の中で亜鉛の供給量の増加には時間を要することが明らかとなった。また、妊婦にとって重要なビタミン B9 あるいは葉酸は、2050 年代においても不足傾向にあることも明らかとなった。ここで、中部アフリカ地域のアンゴラとコンゴ民主共和国において各栄養素の不足傾向が続くことに注意を要する。

一方、気候変動が栄養素供給に及ぼす影響は、さほど大きくないものの、貧血の原因となる鉄と脚気の原因となるチアミンの供給が、多くの国々で減少することが明らかとなった。また、南部アフリカ地域のナミビアとボツワナでは、他の国に比べて各栄養素の供給が気候変動の影響を受けやすいことも示された。

アフリカ地域では、今後、葉酸の供給を補い、気候変動による鉄とチアミンの供給の減少を緩和する対策の立案が望まれる。

謝辞

国あるいは地域別の気候予測値および実測値の平均値は、農研機構農業環境変動研究センターの西森基貴氏に計算していただいた。ここに記して感謝の意を表したい。

引用文献

- [1] FAO, “Regional overview of food security and nutrition in Africa 2016: the challenges of building resilience to shocks and stresses”. Accra, Ghana, 2017, pp.40.
- [2] FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO, “The state of food security and nutrition in the world 2017: building resilience for peace and food security”. Rome, Italy, 2017, pp.132.
- [3] FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO, “The state of food security and nutrition in the world 2019: safeguard against economic slowdowns and downturns”. Rome, Italy, 2019, pp.239.
- [4] Fischer, Günther., Nachtergaele, Freddy, O., Prieler, Sylvia, Teixeira, Edmar, Tóth, Géza, van Velthuisen, Harrij, Verelst, Luc, Wiberg, David. “Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v3.0) – Model Documentation – Laxenburg, Austria & Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2012, pp.179.
- [5] Furuya, Jun, Koyama, Osamu. “Impacts of climate change on world agricultural product markets: estimation of macro yield functions”. Japan Agricultural Research Quarterly, Vol. 39, No.2, April 2005, pp.121-134.
- [6] Furuya, Jun, Kobayashi, Shintaro, Yamamoto, Yukiyo, Nishimori, Motoki. “Climate change effects on long-term world-crop production: incorporating a crop model into long-term yield estimates”. Japan Agricultural Research Quarterly, Vol. 49, No.2, April 2015, pp.187-202.
- [7] Oga, Keiji, Yanagishima, Koji. “IFPSIM: International Food and Agricultural Policy Simulation Model [User’s Guide]”. JIRCAS Working Report, Vol.1. March 1996.
- [8] 渡辺利明, “葉酸による先天異常の予防” 『ビタミン』第 68 巻第 5・6 号, 1994 年 6 月, pp.331-333.
- [9] Yokozawa, Masayuki, Goto, Shinkichi., Hayashi, Yosei., Seino, Hiroshi. “Mesh climate data for evaluating climate change impacts in Japan under gradually increasing atmospheric CO2 concentration”. Journal of Agricultural Meteorology, Vol.59, June 2003, pp.117-130.