

# アジアの食料消費構造の変化に伴う窒素・リンフットプリントの経年変化

## Time series of nitrogen and phosphorus footprints in response to food consumption structure changes in Asia

○種田あずさ\*<sup>1)</sup>、Webeck Elizabeth<sup>1)</sup>、松八重一代<sup>1)</sup>

Azusa Oita, Elizabeth Webeck, Kazuyo Matsubae

1) 東北大学

\* azusa.oita.a3@tohoku.ac.jp

### 1. はじめに

食料生産の過程では、食品として口に入るよりずっと多くの窒素・リン肥料、エネルギー、水などが投入され、環境に負荷を与えている。窒素肥料は、その生産時に多くのエネルギーを要し、また水域の富栄養化や硝酸性窒素による地下水汚染をはじめとする環境汚染の原因となっている<sup>1)</sup>。リン肥料は、リン鉱石の資源散逸や水域の富栄養化を引き起こしている<sup>2)</sup>。人口増加と畜肉需要の増加は今後も続くため、世界的な窒素・リン負荷の増大が懸念されている。

フットプリントは、消費を通じて直接・間接的に必要となる資源や環境中に排出される負荷の総量を測る指標である<sup>3)</sup>。窒素フットプリントは、ライフサイクルにおける反応性窒素 (不活性な窒素ガス  $N_2$  を除く窒素種の総称) 排出量について、リンフットプリントは、リン資源の需要量について、それぞれ食料などの消費量を基に評価する<sup>4)</sup>。

各国の具体的な食生活の変化については、日本<sup>7)</sup>や中国<sup>8)</sup>の窒素フットプリント、日本・中国・インドのリンフットプリント<sup>9)</sup>の分析事例が報告されている。

本研究では、現在の世界人口の3分の1余りを占める中国・インドと、世界で最も高齢化率が高いとともに日本食の健康増進効果が報告されている日本の3カ国を対象に、1961年から2013年における食料消費に関する窒素およびリンフットプリントを食品構成の変化に着目して比較する。

### 2. 方法

#### 2.1 食料窒素フットプリントの算出

食品として摂取した窒素 (消費窒素 CN) に対して、何倍の反応性窒素が食料生産の過程で環境中に排出されたかを示す各国・食品分類別の係数を仮想窒素係数 (VNF) という<sup>4)</sup>。

各国 ( $i$ ) の一人当たりの食料窒素フットプリントは、タンパク質重量あたりの窒素量を 16% として<sup>4)</sup>、国際連合食糧農業機関 (FAO) の一人当たり年間食料タンパク質供給量 (SP)<sup>10)</sup>、水産物<sup>11)</sup>・日本<sup>12)</sup>・中国<sup>8)</sup>の窒素フットプリントに関する既存文献に記載された

29 の食品分類 ( $j$ ) 別の食品ロス率 ( $a$ )・VNF および下水処理による窒素除去率 ( $b$ ) を用いて式(1)、式(2)により算出した。中国のVNFおよび食品ロス率は1960年代から2000年代まで10年おきに示されているため、各年の値は加重平均により求め、2010年代は2000年代と同じと仮定した。インドの食料窒素フットプリントに関する文献はないため、水産物を除く動物性食品のVNFと下水処理による窒素除去率は中国の2000年代と同じ、食品ロス率と植物性食品のVNFは日本と中国の2000年代の平均と仮定した。

$$CN_{ij} = SP_{ij} \times 0.16 \times (1 - a_{ij}) \quad (1)$$

一人当たり食料窒素フットプリント

$$= \sum_j^{29} (CN_{ij} \times VNF_{ij}) + CN_{ij} \times b_i \quad (2)$$

#### 2.2 食料リンフットプリントの算出

各国の一人当たりの食料リンフットプリントは、FAOの一人当たり年間食料供給重量 (SF)<sup>10)</sup>、既往文献<sup>9)</sup>で用いられた各国共通の19の食品分類 ( $k$ ) 別の水分率 ( $c$ )、乾燥重量当たりリン含有率 ( $d$ )、リンの歩留まり率 ( $e$ ) を用いて、式(3)により算出した。仮想窒素係数に相当する仮想リン係数 (VPF) についても、リンの歩留まり率から、 $1/e_k - 1$  として求めた。

一人当たり食料リンフットプリント

$$= \sum_k^{19} \{ SF_k \times (1 - c_k) \times d_k / e_k \} \quad (3)$$

### 3. 結果と考察

一人当たりの食料フットプリントの総量においては、中国・インドの窒素・リンともに増加傾向であったが、日本は近年微減傾向であった (図1、図2)。中国と日本では肉類と野菜類が大きく寄与していたのに対し、菜食主義者の多いインドでは牛乳・乳製品と野菜類の寄与が大きかった。また、中国の1980年代以降の野菜類の窒素フットプリントの増加が著しかった (図1)。

これは、消費量の伸びに加え、野菜・果物・穀物の VNF が増加し、窒素肥料効率が下がったことに起因する。

食品分類別に 2000 年代以降の VNF と VPF を比べると、豆類では、根粒菌などの窒素固定を生かした栽培段階での高い窒素利用効率により、VNF は 0.9–1.3 で、VPF の 3.1 より低い。肉類では、リンは骨に蓄積されるため、VNF の 5.2–12.4 に対し、VPF は 17.9 と高い。

各食品分類が全体のフットプリントに占める割合の経年変化をみると、日本と中国では窒素・リンともに肉類が最も増加していたが、インドでは、窒素は牛乳・乳製品、リンは野菜類の増加が最も著しかった。

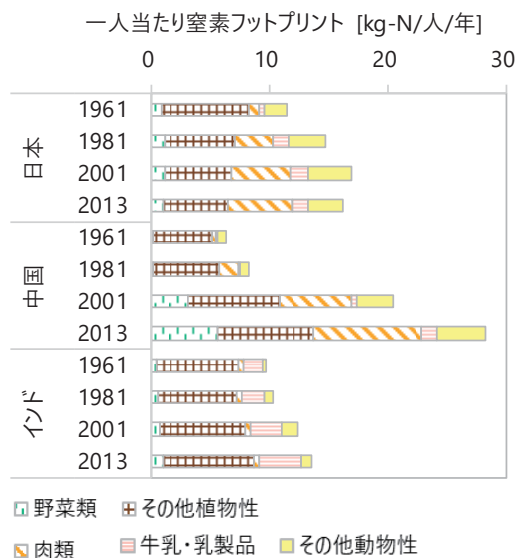


図 1 対象 3 カ国の食料窒素フットプリントの経年変化

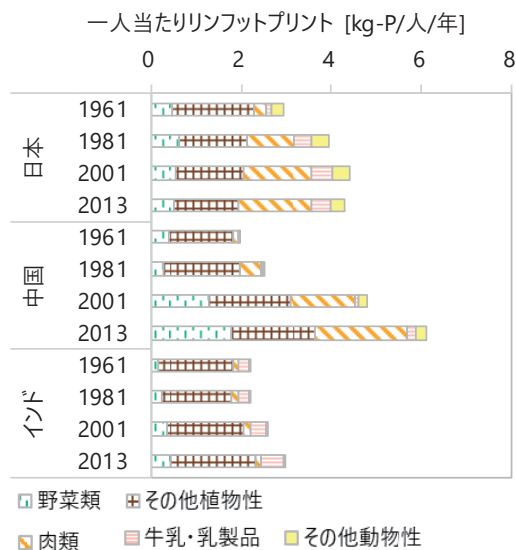


図 2 対象 3 カ国の食料リンフットプリントの経年変化

#### 4. おわりに

本研究では、二大大国である中国とインドは食料窒素・リンフットプリントともに増加傾向であり、共通

する野菜類消費寄与に加え、中国では肉類、インドでは牛乳・乳製品の寄与が重要であることを示した。また、日本の窒素・リン食料フットプリントは近年微減傾向であるものの、肉類の寄与は引き続き重要である。今後は、人口増加の続く他のアジア・アフリカ地域の食料窒素・リンフットプリントや国内地域間における差を考慮することで、各地の食文化を踏まえたフットプリント低減策の検討につなげていくべきである。

#### 5. 謝辞

本研究は、総合地球環境学研究所プロジェクト“生物多様性が駆動する栄養循環と流域圏社会—生態システムの健全性”、東北大学男女共同参画推進センター (TUMUG) が実施する TUMUG 支援事業 (男女共同参画・女性研究者支援事業) の支援を受けて実施した研究成果の一部である。

#### 6. 引用文献

- 1) Bodirsky B. L., Popp A., Lotze-Campen H., Dietrich J. P., Rolinski S., Weindl I., Schmitz C., Müller C., Bonsch M., Humpenöder F, Biewald A, Stevanovic M.: Nat Commun., 5, (2014), p 3858
- 2) Chen M, Graedel T. E.: Glob Environ Chang., 36, (2016), pp 139-152
- 3) Hoekstra, A. Y., Wiedmann, T. O.: Science, 344, (2014), pp 1114–1117
- 4) Leach A. M., Galloway J. N., Bleeker A., Erisman J. W., Kohn R., Kitzes J.: Environ. Dev., 1(1), (2012), pp 40–66.
- 5) 種田あずさ, 柴田英昭, 新藤純子: 日本 LCA 学会誌, 14 (2), (2018), pp 120-133
- 6) Matsubae K., Kajiyama J., Hiraki T. Nagasaka T.: Chemosphere, 84, (2011), pp 767–772.
- 7) Oita A., Nagano I. Matsuda H.: Ambio, 47, (2018), pp 318–326
- 8) Guo M., Chen X., Bai Z., Jiang R., Galloway J. N., Leach A. M., Cattaneo L. R., Oenema O., Ma L., Zhang F.: Environ. Res. Lett., 12, (2017), p 104006.
- 9) Webeck, E., Matsubae, K. Nagasaka, T.: Environ. Econ. Policy Stud., 17, (2015), pp 455–469
- 10) FAO: “Food Balance Sheets”, FAOSTAT, (オンライン), 入手先 <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>>, (参照 2018-07-17)
- 11) Oita A., Nagano I., Matsuda H.: Ecol. Indic., 60, (2016), pp 1091-1103
- 12) Shibata H., Cattaneo L. R., Leach A. M., Galloway J. N.: Environ. Res. Lett., 9(11), (2014), p 115013.