

# 総窒素・総リンの物質循環図

水谷潤太郎

正会員 工修 日本上下水道設計(株) 技術本部(〒162 東京都新宿区富久町6番8号)

本文は栄養物質循環の歪みを矯正して持続可能性を改善する課題に取り組むための基礎となる、全国の総窒素・総リンの物質循環図を提示するものである。食料統計、飼料統計、廃棄物統計、下水道統計、公共用水域水質統計、流量年報、肥料統計など関係するすべての分野のデータを網羅し一覧できるようにした。分析の対象年度は1992年度(平成4年度)である。

*Key Words: sustainability, nutrients, nitrogen, phosphorus, material cycle*

本文は全国の総窒素や総リンの循環について、排水や廃棄物のみならず食料や肥料などの農業の視点も併せて一覧できる図を提示するものであり、これら栄養物質の循環の歪みを矯正して持続可能性を改善する課題に取り組むための基礎となるものである。分析の対象年度は1992年度(平成4年度)としている。

物質循環図を図-1、図-2に示す。

## 1. カテゴリー分類について

図-1、図-2は表-1に示す30項目のカテゴリーからなっている。この内、農耕地・作物・家畜・油脂類・肉類・海産物・人間の6項目については川島<sup>1)</sup>の例にならった。

表-1には各カテゴリーの意味をまとめている。

各カテゴリーにはほかのカテゴリーから総窒素・総リンの流入があり、矢印で表示されていると共にその流入量が数字で示されている。特に①→、②→などから入る矢印があるが、これは対応する①、②などから流入があることを示している。

また各カテゴリーからはほかのカテゴリーに総窒素、総リンなどが流出しており、同じく矢印で示されている。

こうした流入の総量と流出の総量の差が在庫の数字で示されており(すべてのカテゴリーではないが)、そのカテゴリーにおける在庫の増減を示す。また流出の総量をフローの数字で示し、そのカテゴリーを各栄養物質がどのくらい通過するのか示している。

## 2. 主要なカテゴリーの数値の求め方

### (1) 農耕地

農耕地へ流入・流出する各数値については、流入源・流出先の各カテゴリーで算定している。

この流入・流出の差が、総窒素の場合には廃棄物処分地か土壌地下水浸透及び脱窒に入るものとした。また総リンの場合には土壌固定に入るものとした。

### (2) 作物

作物の各数値については、食料需給表<sup>2)</sup>の食料の数量に、食品成分表<sup>3)</sup>に基づく栄養物質原単位を乗じて総窒素・総リンの栄養物質量を求めた。

作物から加工用として例えば総窒素なら317,770 tが油脂類へ送られているはずだが、油脂類では29,100 tしか受け取っていないよう算定されている。差の288,670 tは飼料として家畜に送られていると考え、作物の飼料用329,919 tと合わせて618,600 tが作物から家畜に送られているとした。総リンについても同様である。

### (3) 家畜

作物・海産物・肉類から流入する栄養物質量はそれぞれ当該カテゴリーで計算するところによる。またリンの場合にはりん酸液の飼料への直接投入があり、これは工業用からの流入として示されている。

家畜から肉類に送られる栄養物質量は肉類で算定される。





表-1 カテゴリーの意味

カテゴリー名	カテゴリーの意味
農耕地	全農耕地を意味する。
作物	食料需給表 <sup>2)</sup> の穀類、いも類、豆類、野菜、果実、その他食料計の合計。
牧場	家畜は牧場などで牧草等を作物形態をとらずに摂取する。この栄養物質を意味する。
家畜	牛、豚、鶏、馬、羊、ヤギなど家畜そのものを意味する。
肉類	食料需給表の肉類、鶏卵、牛乳及び乳製品である。
油脂類	食料需給表のでんぷん、砂糖類、油脂類、みそ類、しょうゆ、参考；酒類の合計。
海産物	食料需給表の魚介類、海藻類の合計。
人間	(日本の)人間を意味する。
し尿	下水道に入らずし尿収集されるもの。浄化槽汚泥を含む。
下水	下水道を通過する栄養物質量である。し尿投入を含む。
排水	下水処理水、し尿処理施設の処理水及び各家庭からの生活排水である。
汚泥	下水処理場から発生する下水汚泥である。
河川	河川水及び陸域からの雨水である。
沿岸海域への排水	沿岸海域への放流水である。
海洋還元	海洋へのし尿や下水汚泥の投入である。
無機質肥料	ポケット肥料要覧 <sup>4)</sup> に示される無機質肥料である。
有機質肥料	ポケット肥料要覧に示される有機質肥料である。
特殊肥料	ポケット肥料要覧に示される特殊肥料。コンポストとし尿及び汚泥肥料を除く。
コンポスト	ポケット肥料要覧・特殊肥料中のたい肥である。
し尿及び汚泥肥料	ポケット肥料要覧・特殊肥料中の人ふん尿、おでい肥料、焼成おでい、人ふん尿処理物、くん炭肥料である。
窒素固定	窒素固定菌による窒素固定である。
工業用	リン酸液の内、工業用(洗剤を含む)に用いられるもの。
廃棄物処分地	廃棄物を埋立処分する場所である。
土壌地下水浸透及び脱窒	土壌中の窒素で地下水中に漏出したり、脱窒される部分。
土壌固定	土壌に加えられたリンで難溶性化合物として固定されたもの。
沿岸海域	沿岸に近い海域である。内湾を含む。
自然及びその他	自然負荷やそのほかの給源を意味する。
海洋	沿岸域を離れた海域である。
外国	日本と輸出入を行う外国である。
空気	空気中の窒素である。

家畜からの排せつ物中の総窒素と総リンは、牛・豚・鶏などの頭数に一頭当たりの排出負荷原単位を乗じることにより求めた。家畜頭数は畜産統計<sup>5)</sup>のデータを用いた。排出原単位は竹内<sup>6)</sup>が引用している浮田の値であり、牛の場合総窒素180(g/頭/日)、総リン25、豚の場合総窒素33、総リン13である。

排せつ物のうち有機肥料や特殊肥料にならない部分は、排せつ物として水路や土壌に廃棄される部分である。本文では、これはまず農耕地に一旦戻されるものとした。家畜から農耕地流入部にのびる矢印はこのことを示している。

ただし家畜の流入と流出の栄養物質負荷を差し引きすると、総窒素の場合には流出が大きく、総リンの場合には流入の方が大きい。総窒素の場合には牧場からの牧草などの流入が別にあるものと考え、総リンの場合には排

せつ物の負荷の算定値が過小なので差し引きから得られる数字に修正するものとした。

#### (4) 肉類、油脂類及び海産物

肉類、油脂類及び海産物の各数値については、食料需給表の食料の数量に、食品成分表に基づく栄養物質原単位を乗じて総窒素・総リンの栄養物質量を求めた。

#### (5) 人間

人間には作物・肉類・油脂類・海産物から純食料として栄養物質が入ってくる。

人間から下水道に入る栄養物質量については下水で汚泥及び放流水として算定された栄養物質量を合算することにより求めている。また人間から下水道に入らず、し尿として収集されるものは「し尿」に入る。この栄養物

質量はし尿で算定されている。

平成4年度には下水道の普及率は49%であり、依然として多量の生活雑排水が流されている。これに係る栄養物質質量は、非水洗化人口<sup>7)</sup>、水洗化非下水道人口<sup>7)</sup>に生活雑排水の栄養物質原単位<sup>8)</sup>、し尿浄化槽排水の栄養物質原単位<sup>9)</sup>を乗じて求めた。

以上の流入・流出の差が、台所などからでる生ごみに含まれる栄養物質質量になる。これは廃棄物処分地に送られるものとした。

#### (6) し尿

し尿量に栄養物質質量原単位を乗じて栄養物質質量を求めた。搬入先ごとのし尿量については日本の廃棄物処理<sup>7)</sup>のデータによる。搬入し尿中の栄養物質質量原単位については文献10) データによる。し尿処理施設処理水の水质については文献10) のデータをもとに推定した。

#### (7) 下水

下水からの流出負荷は放流水として「排水」に入るものと汚泥として「汚泥」に入るものに分かれる。栄養物質質量も各々のカテゴリーで算定している。

#### (8) 排水

下水処理場からの放流水中の栄養物質質量は下水道統計<sup>11)</sup>の処理水量に、文献12)に示す下水道施設設計指針の範囲内で運転している処理場の処理水質値を乗じて求めた。また、平成4年度全国の8万m<sup>3</sup>/日以上の晴天日平均下水量をもつ処理場の内、高級処理水で河川に放流しているものが13.09%、直接海域に放流しているものが86.91%であったので、全国の処理場もこの比で河川と海域に放流しているものとした。

#### (9) 汚泥

下水道から汚泥に入ってくる栄養物質質量は下水道統計から得られる汚泥量に、汚泥固形物中の栄養物質質量原単位を乗じて求めた。汚泥固形物中の栄養物質原単位としては、文献13)に与えられている値を用いた。

汚泥の海洋還元にかかる栄養物質質量については下水道統計の汚泥量統計をもとに、文献14)の消化汚泥の栄養物質原単位を乗じて求めた。また汚泥の緑農地利用にかかる栄養物質質量は、下水道統計の汚泥量データに文献13)の汚泥の栄養物質原単位を乗じて栄養物質質量を求めた。

#### (10) 河川

全国29水系の重要河川について、上流部の自然負荷のみとみなされる地点と最下流の最も汚れた地点の水質データを公共用水域水質年鑑<sup>15)</sup>から得、また最下流部の

地点の年平均流量と流域面積を流量年報<sup>16)</sup>から得た。これらのデータから；

海域への流出負荷=最下流の総窒素(総リン)濃度  
\*最下流の流量

人為的な流出負荷=(最下流の総窒素(総リン)濃度  
-上流部の総窒素(総リン)濃度)\*最下流の流量  
対象流域の総流域面積、から求められる。

この結果をもとに、全国総面積377,812Km<sup>2</sup>との面積比で、全国河川の海域への流出負荷と人為的な流出負荷を求めたが、利根川・荒川・淀川については水利用が複雑なので別途考慮した。

#### (11) 無機質肥料

文献17)に基づいて算定した平成4年度の無機質肥料の内需量を示す。これらはすべて農耕地に投入されるものとした。

#### (12) 有機質肥料及び特殊肥料

ポケット肥料要覧<sup>4)</sup>から求めた各種有機肥料の生産量・輸入量のデータをもとに、肥料要覧と文献13)などから得られる肥料栄養物質原単位を乗じて栄養物質質量を求めた。

特殊肥料の内、たい肥はコンポストに、また人ふん尿・おでい肥料・焼成おでい・人ふん尿処理物・くん炭肥料はし尿及び汚泥肥料に計上した。それ以外を特殊肥料と分類した。

#### (13) 窒素固定

耕地面積に窒素固定量原単位を乗じて窒素固定量を推定した。耕地面積は耕地及び作付面積統計<sup>18)</sup>、田・豆類畑・牧草地の窒素固定量は土壌の事典<sup>19)</sup>、樹園地、その他の普通畑の窒素固定量原単位は文献20)による。

#### (14) 工業用

工業用リン酸需要のデータは文献17)による。この中には飼料に直接投入されるもの及び洗剤<sup>21)</sup>に用いられるものがある。飼料に投入されるものは家畜に送られ、また洗剤に入る部分は下水に入るものとした。

#### (15) 廃棄物処分地

このカテゴリーの性格上、ここは栄養物質のシンクであり、ここからでるものはないとした。

総窒素の場合農耕地からの流入もありうるが、土壌地下水浸透及び脱窒と分別し難いので両者に入るように表記した。

#### (16) 土壌地下水浸透及び脱窒

総窒素の場合、農耕地に施用されたものの多くは硝酸

態窒素となって地下水中に浸透したり、脱窒作用を受けて空中に戻る。

脱窒量は、耕地及び作付面積統計<sup>18)</sup>から得られる田・畑の耕地面積に、文献22)で引用している文献23)の値(田の脱窒量原単位70KgN/ha/年、畑の原単位30KgN/ha/年)を乗じて推定値を求めた。

#### (17) 土壌固定

総リンの場合、農耕地に施用されたものの多くは土壌中に難溶性塩として固定されてしまう。これを表すため土壌固定欄を設け、農耕地から流入するよう表記した。

#### (18) 沿岸海域及び海洋

内湾や沿岸水域は、外洋と異なり、陸域から補給される栄養塩に富んでいる。また陸域からの負荷はまず沿岸域に流入する。このことを明示するために沿岸海域カテゴリーと海洋カテゴリーを別々に設けた。

また文献15)にもとづく沿岸域の水質情報の一部を参考として図-1、図-2に示した。さらに文献24)から得られた日本近海の海洋における窒素濃度、リン濃度も図中に提示した。

#### 参考文献

- 1) 川島博之: わか国における食料供給と窒素循環, 環境科学会誌, 9(1), pp. 27-33, 1996.
- 2) 農林水産大臣官房調査課: 食料需給表・平成4年度, 1995.
- 3) 香川綾監修: 四訂食品成分表, 科学技術庁資源調査会編 <四訂日本食品標準成分表>による, 女子栄養大学出版社, 1996.
- 4) 農林水産省肥料機械課監修, (財)農林統計協会: ポケット肥料要覧, 1995.
- 5) 農林水産省統計情報部: 畜産統計(平成6年2月1日調査), 1994.
- 6) 竹内誠: 農業域の水質環境の現状と水質浄化技術, 再生と利用, Vol. 14, No. 53, 1991.
- 7) 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課: 日本の廃棄物処理・平成4年度版, 1995.

- 8) 桜井敏郎他: 家庭排水の汚濁負荷量原単位調査, 神奈川県衛生研究所研究報告 No. 9, 59, 1979.
- 9) 建設省都市局下水道部監修: 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説・平成5年, (社)日本下水道協会発行, 1993.
- 10) (社)日本廃棄物コンサルタント協会・技術部会・生活系液状廃棄物処理専門委員会: し尿処理技術調査最終報告書, 1995.
- 11) (社)日本下水道協会: 平成4年度版下水道統計・行政編(平成4年4月1日~平成5年3月31日)第49号の1, 1995.
- 12) 建設省土木研究所資料第2633号: 下水道高度処理計画及び高度処理導入プログラムに関する研究報告書, 昭和63年5月, 1988.
- 13) 栗原淳, 越野正義: 肥料製造学, (株)養賢堂, 1986.
- 14) 松尾友矩訳者代表, Metcalf & Eddy, Inc.: 水質環境工学, 技報堂出版(株), 1993.
- 15) (株)富士総合研究所: 1994年版&1995年版全国公共用水域水質年鑑, 環境庁水質保全局監修, 1994, 1995.
- 16) 建設省河川局編集: 流量年報(平成5年), (社)日本河川協会発行, 1995.
- 17) 日本化成肥料協会編集: 磷酸・化成肥料関係資料(第26集), 1995.
- 18) 農林水産省統計情報部: 平成4年, 平成5年耕地及び作付面積統計・市町村別耕地面積統計, 1993, 1994.
- 19) 久馬一剛他編著: 土壌の事典, (株)朝倉書店, 1993.
- 20) 木村真人: 土壌中の微生物とその働き; (その8) 畑の微生物, 農業土木学会誌第59巻第11号, 1991.
- 21) 日本石鹼洗剤工業会: 石鹼・洗剤・油脂製品・原料油脂年報, NO. 42, 43, 44, 1992, 1993, 1994.
- 22) 袴田共之: 農業における物質循環と地球環境問題, 再生と利用 Vol. 14, NO. 53, 1991.
- 23) Yatazawa, M: Agro-ecosystems in Japan, M. J. Frissel(ed.) *Cycling of Mineral, Nutrients in Agricultural Ecosystems*, pp. 167-179, Elsevier, 1978.
- 24) 海洋大事典, P557, 東京堂, 1987.

(1996. 9. 19受付)

## NITROGEN AND PHOSPHORUS MATERIAL CYCLE IN JAPAN

Juntaro MIZUTANI

This paper presents the diagrams of the nitrogen ( as nitrate, ammonium and organic ) and phosphorus material cycle in Japan, in 1992. These diagrams are expected to give the basic database to whoever study the improvement on the sustainability of the current material cycle.

Various data sources, concerning such as food distribution, livestock food, waste, feces, sewage, water quality, water flux, fertilizer etc. are utilized.