

課題名 RFb-11T1 非特定汚染源からの流出負荷量の推計手法に関する研究

課題代表者名 古米 弘明 (社団法人日本水環境学会ノンポイント汚染研究委員会 (東京大学大学院工学系研究科 附属水環境制御研究センター 水環境制御研究室 教授))

研究実施期間 平成23年度

累計予算額 13,000千円 (うち23年度 13,000千円)  
予算額は、間接経費を含む。

## 研究体制

(1) 非特定汚染源からの流出負荷量の推計手法に関する研究 ((社) 日本水環境学会)

### 研究協力機関

土木研究所、農業環境技術研究所、農村工学研究所、茨城大学、愛媛大学、関西大学、北里大学、京都大学大学院、高知大学、滋賀県立大学、島根大学、東京大学、東京理科大学、鳥取大学、鳥取大学大学院、富山県立大学、豊橋技術科学大学大学院、人間環境大学、広島大学大学院、北海道大学、山口大学大学院、山梨大学大学院、立命館大学、群馬工業高等専門学校、豊田工業高等専門学校、長野工業高等専門学校、大阪市立環境科学研究所、滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、福岡県保健環境研究所、琵琶湖・淀川水質保全機構、パシフィックコンサルタンツ株式会社、Finnish Forest Research Institute

## 研究概要

### 1. はじめに (研究背景等)

湖沼や内湾などの閉鎖性水域の富栄養化対策として、総量規制や湖沼保全計画に基づき、家庭や工場等の特定汚染源からの発生負荷量は削減されているものの、わが国の内湾や湖沼の栄養塩濃度は依然低下していない状況にある。この原因として、非特定汚染源からの発生負荷量が正確に評価されておらず、実際には非特定汚染源からの流出負荷の比率が高く、それが減少していないあるいは増加しているため、特定汚染源からの負荷の削減が対象となる内湾や湖沼への実際の流入負荷の削減に結びついていないことが指摘されている。現在用いられている原単位は、特に東京湾・伊勢湾・瀬戸内海の総量規制で用いられているものは、1980年の開始時からほとんど変更されておらず、その後の非特定汚染源からの流出負荷の変化や降雨時に多量に流出するという研究成果等が反映されていない。このため、最新の研究成果に基づき、非特定汚染源からの流出負荷量について再検討を行い、実態を反映した推定手法に改める時期に来ている。

### 2. 研究開発目的

本研究では、非特定汚染源からの汚濁負荷量を適正に把握・評価し、湖沼・内湾への全流入負荷量に対する非特定汚染源の位置づけを、最新の科学的知見をもとに明確にする。非特定汚染源を市街地、農地、森林に分けて各非特定汚染源からの有機汚濁物質、富栄養化要因物質の窒素およびリン等の流出に関する文献や観測データを収集し、収集したデータの流域情報と負荷量に関するデータベースを作成するとともに、原単位に関する考え方について整理し、新しい原単位の推定手法の提案を行うことを目的としている。

### 3. 研究開発の方法

#### (1) 非特定汚染源からの流出負荷量の推計手法に関する研究

市街地、農地、森林の流出負荷量や原単位と、それらに関連する流域や水文条件等の情報を学術論文や研究機関等の調査報告書等から収集しデータベースを作成する。同時に、大気降下物による負荷についても同様に情報を収集し、データベースを作成する。更に既往の文献と今回得られた情報、整理したデータベースから、非特定汚染源の原単位の考え方や課題を検討し、これまでの原単位の算定

手法や水域管理における原単位法の適用の現状と課題について明らかにし、非特定汚染原制御に関する現実的な方法論について検討する。具体的には、原単位の定義と歴史、実測値からの原単位の算出方法および算出根拠、面源にかかる原単位の利用方法・使われ方、現状の問題点と課題、これからの原単位のあり方、についてそれぞれ検討する。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) 非特定汚染源からの流出負荷量の推計手法に関する研究

市街地、農地、森林の原単位および大気降下物による負荷について、既報の文献等から関連情報を収集・整理してデータベースを作成し、現状の原単位の問題点と改善のための課題を明らかにした。

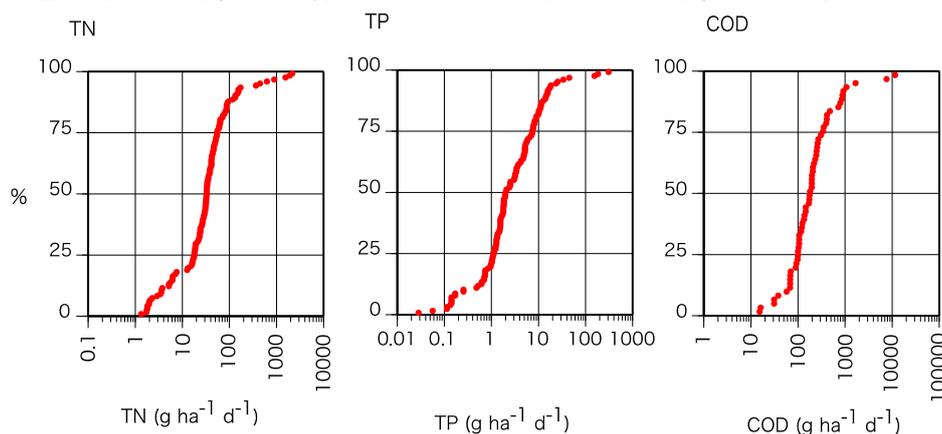
##### 1) 市街地の原単位情報の収集とデータベース化

これまでに学術論文や報告書等として公表されている市街地非特定汚染調査事例（主として国内のもの）を収集した。原単位の整理が最終的な目的ではあるが、原単位が提示されていない文献であっても、資料価値があると考えられるものはデータベースに掲載した。同様に、参考として国外の事例も一部データベースに含めた。データベース化において、文献情報として、表題・資料タイトル、著者名、公表年、収録雑誌名、巻号、掲載ページを、文献内容として、概要、地点情報、流域情報、土地利用情報、時期、調査方法、降雨時調査、気象情報、対象物質、原単位を項目とした。

データベース化した件数は合計で506件となった。その内訳は、報告書等301件、学術雑誌（和文）131件、同（英文）74件であった。報告書等301件のうち、170件が土木研究所および国土技術政策総合研究所の資料、5件が地方環境研究所報告書であり、それ以外の126件は国および地方自治体の委託業務等の報告書である。後者は広く公開されていない又は容易に入手できない資料が多く、これらがデータベースとしてまとめられたことは実務上の意義が大きいと言える。学術雑誌については、検索対象雑誌数25誌（和文14誌、英文11誌）である。このデータベース化は、単に原単位の値を示すだけでなく、調査方法や原単位の求め方も表記した点に特色がある。

データベース化された484件のうち、実際に原単位の情報が得られたものは313件である。窒素が273件、リンが190件、有機物（COD、BOD、TOC）が141件、SSが90件、その他（重金属や炭化水素等）が29件である（一つの文献で複数の項目の原単位を掲載しているものがあるため、単純合計は313を超える）。

これらのデータについて解析を行った。図(1)-1には全窒素（TN）、全リン（TP）、CODについて得られた原単位値の累積分布を示す。最小値から最大値までは約1000倍の開きがあり、25%位～75%位（中央値付近の全体の半数）に限定しても約10倍の開きがあることが分かる。表(1)-1には各項目のデータ数、原単位の中央値、25%位～75%位、および幾何平均値を示す。各原単位の中央値や幾何平均値は第6次水質総量削減計画の値よりも高く、特にCODについては1けた以上高かった。



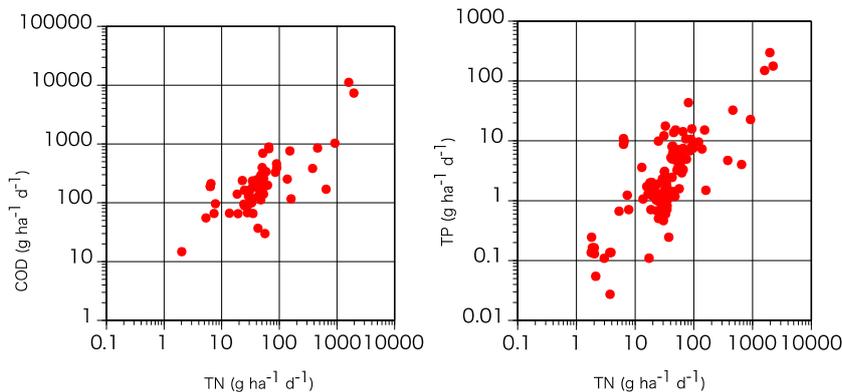
図(1)-1 得られた市街地原単位の累積分布

表(1)-1 得られた市街地原単位の中央値および幾何平均値

	中央値	幾何平均値
TN (g ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	31.8	28.9
TP (g ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	2.0	2.4
COD (g ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	173	187

図(1)-2に、同時に調査報告されているTNとCODおよびTNとTPの原単位について、それぞれの相関図を示す。いずれも相関性が見られ一桁程度の変動範囲に収まっており、相互の相関が強い。ライフス

タイルの変化や土地被覆状況の変化などにより市街地非特定汚染の原単位に何らかの時間的変化が認められることが想定されたが、原単位情報の時間的変遷を検討した結果、今回の調査結果を見る限りはそのような変動は認められず、原単位の汚濁負荷を検討する際に最新の調査事例に限定する必要性が低いと考えられた。



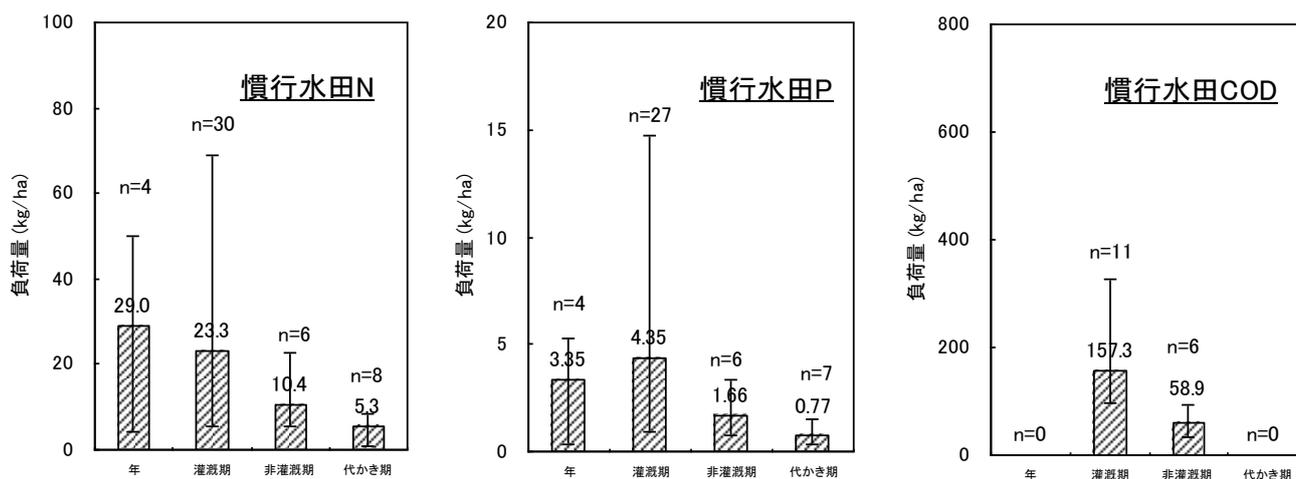
図(1)-2 全窒素 (TN)、全リン (TP)、CODの原単位の報告値の相関性

## 2) 農地の原単位情報の収集とデータベース化

農地からの流出負荷量や原単位を記載している文献を、学術雑誌や研究機関等の報告書から収集し、データベース化した。対象成分は窒素、リン、有機物としたが、それ以外の濁度成分 (SS)、重金属も含めた。文献の収集年代は、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の総量規制が行われた1980年以降とした。また、データベースには調査地の状況 (土地利用状況、土壌条件、施肥量、農法など) も記載した。利用した学術雑誌は17誌である。研究機関などの報告書は、農水省研究所報告書、地方農政局報告書、都道府県農業試験場報告書、都道府県 (市) 公害 (環境) 研究所報告書を調べた。

データベース化は、水田と、水田以外の2つに大別して行った。まず、水田の原単位に関して、収集できた文献数は72で、収集できたデータ数は562であった。調査期間別では、灌漑期が377件と最も多かったものの、通年、非灌漑期、代かき・田植え時期のデータも合計180件得られた。

図(1)-3に、収集したデータのうち、慣行農法の現場水田 (水田群・一筆水田) における窒素、リン、COD<sub>Mn</sub>の単純排出負荷量のデータをまとめた。なお調査頻度は、1ヶ月1回以上のものである。その結果、窒素排出量は第6次水質総量削減計画の面源原単位と大差なかったが、リン排出負荷量は削減計画の原単位を大きく上回っていた。COD排出量は、窒素、リンに比較してデータ数はかなり少なく、削減計画の原単位と比較して大きいものであった。



図(1)-3 慣行水田の排出負荷量の平均値、最大値、最小値

排出負荷を減らすための技術である「改善農法」に関する文献もあり、排出負荷削減のため農法に何らかの改善が行われた現場水田における窒素、リン、COD<sub>Mn</sub>の単純排出負荷量のデータを得た。その結果、窒素については、排出負荷の削減効果が高かったのは代かき・田植期 (70%削減) であり、年間、灌漑期、非灌漑期の削減効果は顕著ではなかった。一方、リンについては、窒素よりも排出負荷の削減効果は高く、単純計算で削減率は灌漑期で67%、代かき・田植え時期で80%と大きな値が得られ、改

善農法が広く取り入れられている地域では、特にリンとCODについて慣行農法が主体の地域の原単位とは異なった値を使うことが重要であると考えられた。また、水田から窒素の排出負荷量が特に大きいデータは、畜産堆肥施用等で施肥量が多い場合や元肥重点型施肥等の従来型の施肥方法の場合であり、リンの排出負荷量が特に大きいデータは灌漑水量が多く地表排出量が多い場合のものであった。一方、窒素およびリンの排出負荷量が特に小さいデータは、節水灌漑が行われ、地表排出水量が少ない場合であった。水田からの排出原単位を推計するにあたり、地域の施肥状況と灌漑水量の多少について特に留意が必要であると考えられた。

水田以外の農地の原単位に関して、畑地（普通畑、水田転換畑）、樹園地（茶、果樹、桑など）、草地（飼料畑、採草地、放牧地など）、ハス田の4つに大別して、文献データ収集・整理を行った。また、異なる農地（地目）から成る複合流域についての負荷量データも収集・整理した。その結果、畑地・樹園地・草地・ハス田については49、複合流域については20の文献が収集され、負荷量の全データ数は288、その内訳は、畑地で114、樹園地・草地・ハス田で88、複合流域で86であった。

畑地、樹園地、草地、ハス田における窒素、リン及びCOD排出負荷量の算術平均値は、農法（慣行及び改善）の如何に関わらず、削減計画原単位（窒素、リン及びCOD排出負荷量＝28、0.37及び3.7 kg/ha/yr）を大幅に上回るものがほとんどであり、削減計画原単位を大幅に上方修正する必要があることを強く示唆するものである。慣行農法での窒素の排出負荷量（算術平均値）は、樹園地（茶）で最も高く（236 kg/ha/yr）、草地（飼料畑）の170 kg/ha/yr、畑地（野菜）の162 kg/ha/yrが、これに次いで高かった。同じ地目（畑地、樹園地、草地）であっても、窒素施肥量の多い作目（野菜、茶、飼料用作物）では、それ以外の作目の3～6倍もの窒素の排出負荷量を示した。また、ハス田は、水田と同様に湛水条件下での栽培を行うが、窒素施肥量が多く、窒素の排出負荷量は124 kg/ha/yrと慣行水田の4倍以上の値を示した。慣行農法でのリン及びCODの排出負荷量（算術平均値）については、それぞれ、畑地（野菜以外）において、3.9及び74 kg/ha/yrとなり、畑地（野菜）の1.0及び34 kg/ha/yrよりも高い値を示した。畑地以外では解析に十分なデータ数を得ることは出来なかったが、樹園地、草地では、少数ながらも畑地と同様の高い値が得られた。

地目・作目の異なる農地や他の土地利用から成る複合流域を、農地面積に占める割合の高い地目を主体として水田流域、畑地流域、樹園地流域、草地流域、およびこれらの流域との比較対象として観測された林地流域の5種類に区分し、排出負荷量をこれらの流域別及び観測時期別に整理して解析を行った。水田流域では、代かき・田植え期に、極めて高い窒素及びリンの排出負荷量（算術平均値：それぞれ、21及び3.2 kg/ha/d）が報告されていた。一方畑地流域及び草地流域では、融雪期に窒素の排出負荷量が増大し、それぞれ他の時期の観測値の3及び70倍に達した。これらの流域では、融雪期の農地の土壌侵食防止などが、流域からの排出負荷量削減のために効果的と考えられる。

農地からの面源負荷量の把握のために原単位を利用するのであれば、原単位は、地目・作目や農法（慣行、改善）などの違い、さらには、時期の違い（代かき・田植え期や融雪期など）等によって、細分化した値を設定すべきである。地目・作目の違いや、複合流域内の主な地目の構成や時期による違いは、窒素、リン及びCODの排出負荷量を、ある範囲内で大きく変化させる。このほか、地形や気象条件などを考慮することにより、原単位をより精緻化していくことが必要である。圃場～流域スケールでのリンやCOD排出負荷量の実測値は極めて乏しく、樹園地・草地については、慣行農法の改善効果を評価するための定量的データの蓄積が乏しい。さらに、積雪寒冷地での圃場～流域スケールでの通年観測データが得られておらず、冬期間の測定手法の開発なども含めて今後の進展が望まれる。

### 3) 森林の原単位情報の収集とデータベース化

森林からの原単位に関する情報の整理とデータベース作成のため、国内学会誌、国際学会誌、林業試験場および森林総合研究所など研究機関の年報や研究報告等の資料を対象として、森林からの原単位や流出負荷量に関するデータを含む文献の収集を行った。収集対象とした文献は、主に1980年以降に公表されたものとした。対象項目は窒素、リン、有機物、懸濁物質とし、窒素、リン、有機物はそれぞれ形態別に整理した。森林の原単位は、地理的条件、森林の状態、気象条件、流域への流入負荷量等により異なると考えられるため、それらの情報もデータベース項目とし文献から可能な限り抽出した。また、原単位の計算のもとになった水質（濃度データ）について明記されている場合はデータシートに含めた。今回抽出した原単位に関連する具体的な項目は、概要、観測地点情報（緯度経度、標高）、流域情報（流域面積、河川次数、林相、地質情報）、負荷量算出方法、観測時期、調査方法（観測頻度、採水方法、流量観測頻度・方法）、降雨時調査（対象降雨、降雨時採水方法、観測イベント数、降雨強度、先行晴天日数など）、気象情報（実測/観測値、モデル推測）、気温、流域へのインプット量（窒素、リン、COD、TOC、SS）等である。

収集した文献数は、学術雑誌が66報（うち、国内のもの31報、海外のもの29報）で、各都道府県の

林業試験場や森林総合研究書の報告書等が6報であった。1つの文献に複数の流域の原単位情報が含まれている場合があり、これらの文献から流域別の原単位の情報を87件得ることができた。また複数の水質項目に対する原単位が求められている場合が多く、単純合計では317件（うち国内137件、海外180件）となった。水質項目毎の原単位のデータ数、最大値、最小値、中央値および平均値について、国内のみのデータを対象としたものを表(1)-2に示す。海外のデータを合わせると、窒素154件、リン93件、有機物（TOC、COD等）61件、懸濁物質9件の原単位データが得られた。

表(1)-2 国内における森林からの水質項目別の原単位データ (kg/ha/yr)

項目	データ数	最大値	最小値	平均値	中央値
TN	17	21	0.91	4.9	4.0
DN	10	17	0.90	5.2	4.4
DIN	3	20	10	14	10
NO <sub>3</sub> -N	11	17	0.25	4.1	3.4
(NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )-N	7	4.2	0.02	1.3	0.29
NH <sub>4</sub> -N	9	0.2	0.05	0.19	0.21
TP	20	0.3	0.04	0.15	0.12
DP	16	0.1	0.02	0.07	0.06
PO <sub>4</sub> -P	12	0.1	0.02	0.04	0.04
T-COD (Mn)	9	72	9.7	24	21
D-COD (Mn)	7	57	9.7	22	17
TOC	5	33	6.0	16	16
DOC	2	17	5.6	11	11
SS	9	632	6.5	133	51

森林を対象とする原単位の妥当性を検討する際の最大の問題は、流出負荷量のデータが極めて少ないことである。また“他の地域で用いられている原単位や既往研究で報告されている原単位の値を参照し、当該地域の原単位として用いる”ことは科学的根拠に基づくものではなく、この状況が30年近く続いていることも問題である。森林における水と物質の流出現象には、流域の外的要因（気候、気象など）と内的要因（地形、地質、土壌、植生、土地利用など）が複雑に関係している。また、森林河川の栄養塩に関する既往の研究では、栄養塩濃度や流出負荷量は平水時と出水時で大きく異なることに加え、出水イベント内での濃度変化が大きいことが報告されている。これらのことを考慮すると、流出負荷量の推定方法は今後統一される可能性は低く、むしろ流域ごとに異なっていると想定する方が適切である。対象流域に適した出水時の流出負荷量推定方法を探ることが重要であると言える。しかし出水時の流出負荷量の推定では河川流量や濃度変化が大きいいため誤差を含みやすく、原単位や流出負荷量を取り扱う際にはその精度を考慮する必要がある。例えば、「流域内の森林をa%皆伐した時に生じる流出負荷量の変化を明らかにしたい。そのためには、精密さ（Precision）をb%以下、正確さ（Accuracy）を±c%以内に抑える必要がある。よって対象とする流域では、週d回の採水と年e回の出水イベントの連続採水データをもとにL-Qモデルで流出負荷量を推定する」ということが考えられる。目的に応じて精度を設定するためには、これまでに原単位や流出負荷量が用いられてきた場面を整理することが有効であり、対象とする流域での推定方法と精度との関係が理解できる調査が流出負荷量の推定戦略を練るために非常に重要な事項である。既往の研究から、集中的に出水時のデータを収集した1年間があれば、推定精度に与える採水頻度と計算方法の影響について検討できる可能性が高く、適切な原単位や流出負荷量の把握のためには、出水時を重要視した対象とする流域ごとの調査の実施、原単位や流出負荷量の用途に見合う精度の把握、及び集中的な初期投資による効果的な採水戦略の策定が不可欠であるといえる。

#### 4) 大気降下物の原単位情報の収集とデータベース化

降雨負荷を中心とした大気降下物による沈着量についても情報収集とデータベースの作成を行った。調査対象は国内外の学術雑誌、地方環境研究所の報告書（その前身の地方衛生研究所・地方公害研究所の報告書を含む）、森林総合研究所の報告書と、これらの文献に加えて環境省、全国環境研究所協議会、東アジア酸性雨モニタリングネットワークにより公表されているデータ集である。1980年以降の国内における調査結果を中心に、アジアで調査研究をされたものも対象とした。対象項目は森林と

同じく、窒素、リン、有機物、SSとした。収集した文献は、学術雑誌が17報、地方環境研究所・地方衛生研究所・地方公害研究所の報告書が29報、森林総合研究所の報告書が1報であった。これまでに調査を継続して実施している環境省、全国環境研究所協議会、東アジア酸性雨モニタリングネットワークの報告から収集できたデータ数が非常に多い。収集したデータのうち、サンプルの採取が1年程度以上継続して行われたものについて項目別に原単位をまとめたものを表(1)-3に示した。

表(1)-3 大気降水物の水質項目別原単位データ (kg/ha/yr)

項目	データ数	最大値	最小値	平均値	中央値
TN	48	30.2	1.49	9.63	8.62
DN	28	17.0	6.7	11.4	11.5
NO <sub>3</sub> -N	1411	21.6	0.10	3.0	2.4
NH <sub>4</sub> -N	1410	32.9	0.11	4.2	2.9
TON	1	1.8	1.8	1.8	1.8
PN	24	0.88	0.14	0.42	0.37
TP	41	1.1	0.03	0.19	0.10
DP	28	0.58	0.04	0.15	0.11
PO <sub>4</sub> -P	27	0.48	0.02	0.11	0.08
TOP	1	0.15	0.15	0.15	0.15
PP	24	0.19	0.03	0.10	0.09
COD (Mn)	28	65	8.2	29	27
D-COD (Mn)	11	28	12	21	22
TOC	1	34	34	34	34
BOD	1	43.8	43.8	43.8	43.8
SS	1	269	269	269	269

## 5) 非特定汚染源の原単位とその推計手法の現状と課題

非特定汚染における原単位の考え方を整理し、これまでの原単位の算定手法や水域管理における原単位法の適用の現状と課題、さらに非特定汚染源制御に関する現実的な方法論について検討した。

### a. 原単位の定義と歴史

原単位の原義とその使用法を検討するため、辞書（国語）、百科事典、専門辞書、環境関連専門教科書、専門書のそれぞれについて、その定義、使用範囲を検討した。辞書類では、18冊のうち6冊には原単位の項目があった。専門事典では水使用量、交通量、生産量、汚濁負荷量など様々な場所で別の定義で使われていた。環境工学教科書では、35冊中9冊に、専門書では71冊中6冊に取り上げられていたが、教科書・専門書ともほとんど明確な定義はなかった。以上のことから、流出負荷推定で用いられる「原単位」は、その原意の「ある出力を規定するフレーム値がある場合、そのフレーム値単位当たりの出力値」が、自然に使われるようになったと推察された。

文献において原単位がどのように使われているかを検討した。データベースJ Dream IIの約2千5百万件の文献から「原単位」「水質」「負荷量」をキーワードに検索し411件を抽出した。検索用語の属性（発表年、雑誌、著者等）とその関連情報（シソーラス用語、要旨、英訳）からその特性を解析した結果、該当文献の特性として、文献は1980年～1988年と1996年以降にやや集中していた。また、雑誌では「用水と廃水」と「水環境学会誌」、学会講演要旨集では「水環境学会年会」と「土木学会年次講演会」に多かった。原単位の英訳を調査した結果、原単位の英訳は多様に渡り、流出の分野でも原単位で19種類、原単位法で4種類あった。確立した原単位の英訳はないといえるが、原単位の英訳としては‘specific load’が汎用性と正確性があると考えられた。

### b. 実測値からの原単位の算出方法および算出根拠

総量削減計画、湖沼水質保全計画の中で採用されている面源原単位、原単位の算出方法の研究事例から調査方法と算出期間の影響等を中心に整理した。

水質総量削減制度においては、非特定汚染源からの負荷量は「その他系」負荷量に含まれ、非特定汚染源以外の負荷と一括して示されることが多い。総量削減基本方針においても削減目標はその他系として一括して示される。その他系負荷量には、非特定汚染源からの負荷である「土地系」に加え、「畜産系」や「下水道（その他）」、「廃棄物最終処分地」からの負荷量が含まれている。「土地系」には「山林」、「水田」、「畑・果樹園」、「その他の土地」が含まれるとされている。総量削減制

度のもとで関係都府県によって推計された発生源別汚濁負荷量と東京湾における発生源別のCOD負荷量の推移をみると、特定汚染源からの負荷が削減されるとともに相対的にその他系負荷が占める割合が多くなってきているが、土地系からの負荷が占める割合は非常に小さいとされている。

指定地域共通の原単位についてその算定根拠を調査した結果、CODの原単位の算出根拠として以下の内容が明らかになった。1) 山林は、國松による滋賀県愛知川・安曇川の調査結果（1977年10月調査）に基づき、比流出負荷量の平均値2.5 g/ha/d、を求め、これを年換算したものを根拠としていた。2) 水田は、茨城県馬掛の反復利水を行っている水田団地における1976年の調査から求めた差引負荷量6.4 kg/ha/yrを根拠としている。負荷量調査は田淵らが4月-12月に行ったものと推測された。3) 畑地・果樹園、市街地・その他については、流域別下水道整備総合計画に定められている自然汚濁負荷量（0.5-1.0 kg/km<sup>2</sup>/d）のうち安全側を見込み1.0 kg/km<sup>2</sup>/dを採用したとあった。この値の根拠は、山形県内の河川上流部の調査、霞ヶ浦工事事務所による筑波山塊付近の6流域の調査結果であるBOD負荷量の平均値に基づいていた。4) 指定地域（20都府県）のうち、18都府県は同じ原単位を使用しており、他と異なる原単位を用いているのは愛知県と大阪府のみであった。また、「畑地」と「市街地・その他」のCODの原単位は同じ値が用いられていることが明らかとなった。また、TNとTPにおいて、「山林」と「市街地・その他」が同じ値であり、「水田」と「畑地」についても同じ原単位が用いられていた。1986年の環境庁事務連絡参考資料において、その根拠は1974年の流域計画指針にあるとされていた。

『流域別下水道整備総合計画調査指針と解説』では、この値の出典は1971年土木学会の「琵琶湖の将来水質に関する調査報告書 昭和45年度」としている。この報告書によると、「愛知川上流部にて1970年7月27日と同年9月3日に計4回の実測をし、その平均負荷量より流域からの人工負荷流出量（計算値）を引いた値を山林の原単位とした」とあった。また、水田および畑地・果樹園については、同様に環境庁の事務連絡資料から、根拠は1974年の流域計画指針であることがわかった。しかし、『流域別下水道整備総合計画調査指針と解説』にはこの値の出典が示されていないためこれ以上遡ることができなかった。このように根拠不明または1970年代の調査を根拠としており、地点も期間も非常に限定された調査に基づいていること、また畑地・果樹園、市街地は調査されていないことが明らかになった。

原単位算定方法に関する研究事例について、調査を行った。調査方法として調査法、調査頻度、天候、降雨・農業イベントなど、算出方法として負荷推定式、推定年数、物質収支、時期や天候別の推定式など、が原単位（負荷の算定量）に与える影響を調べた。田淵らの実測値との平方誤差率を見ると、山林では6日、農地では15日の調査頻度までならば、平方誤差率が10%以内に収まっていた。多田らは、5つの負荷算出法のうち、直線型L-Q法が真値と類似、かつ、調査頻度が長くても推定範囲が他の方法ほど広がらないため、最良な推定法であることを示した。

### c. 面源にかかる原単位の利用方法・使われ方

面源にかかわる原単位の利用の最終的な目的は、受水域である湖沼や海域への水質の予測であり、その過程に流域からの発生汚濁負荷量の推定がある。受水域の水質の予測の方法は、発生汚濁負荷の推定、流達負荷の推定、受水水域の水質予測・再現に分かれるが、集中型モデルないし分布型モデルを利用して汚濁負荷を計算し、水質計算を行って最終的に河川・湖沼・地下水・海域の水質の再現を行う。流域からの発生汚濁負荷量の推定方法は、流域あるいは小流域を一括して扱い、ブロック割りして土地利用別に求める方法、メッシュごとの土地利用により求める方法の2通りあり、前者は、流域の土地利用区分を算定し土地利用ごとの汚濁負荷発生原単位にフレーム値を乗じて発生汚濁負荷量を算出する。後者はメッシュごとの土地利用のフレーム値に汚濁負荷発生原単位を乗じてメッシュごとの発生汚濁負荷量を算出する。近年、流域からの発生汚濁負荷の計算に後者をGISとともに用いる手法が一般化しつつある。いずれも受水域への流達負荷量の算出については、年間発生汚濁負荷量と流達率、浄化残率の積をとる。流量・汚濁負荷量を計算するために流域ごとのタンクモデルなどの集中型モデルを用いる場合と、分布型のモデルを用いる場合、その中間的なものとして地形区分ごとに土地利用を分割した例がある。流達負荷量の推定に関しては、水路の堆積・掃流過程を計算する。実際に出水時流入負荷データを用いた東京湾流域全体からの流入負荷の経年変化を解析した事例では、TNはほぼ一致するが、降雨時流出負荷量の多いCODおよびTP負荷量は原単位の計算が過小評価となることや、原単位法で求めた琵琶湖への流入負荷量と琵琶湖・流入河川水質の経年変化との対応関係を調べた事例では、TPについては対応がみられたが、COD、TNについては対応がみられなかったことが報告されている。受水域の水質予測については、河川水質を予測する場合と湖沼・海域水質を予測する場合がある。湖沼・海域水質の予測にはVollenweider型のモデルで水質予測を行ったり、数値モデルを用いて水質予測を行ったりする方法がある。時系列で受水域の水質を再現するためのモデルにはL-Q式等による河川からの時系列での汚濁負荷量の再現が必要となる。

#### d. 現状の問題点と課題

面源からの流出負荷量は原単位法やシミュレーションなどにより算出されるが、原単位の問題点と課題について以下のように整理した。

原単位の設定根拠に関する問題点として、降雨時調査を実施しなければ原単位は過小評価になること、時間スケールをより大きく捉えた場合では同じ場所においても原単位が変化するケースが考えられること、土壌タイプ、樹種、交通量等の場所の特性で負荷量が変わること、が挙げられる。また物質収支の観点から負荷量の妥当性を検証した事例は少なく、特に水田では研究レベルでも実態説明が不十分である。さらに負荷量の推定方法として、区間代表法、L-Q式、あるいはシミュレーションによる方法などがあるが、いずれも一長一短であった。

負荷量の計算方法の課題としては、流達率を1として湖沼等への流入負荷量が計算されているケースが多いことが挙げられ、そのまま湖沼水質モデルへの入力条件として使用した場合はモデルパラメータを必要以上に調整することになる。また、過去に、面源負荷原単位に地下浸透分が考慮されている一方で地下水由来の負荷が別途計上されているケースがあり、地下水からの負荷量など負荷のダブルカウントをしていないか注意する必要がある。

原単位の利用方法上の課題として、同じ原単位が長期にわたって使い続けられているケースが多く、現在も適した値であるか、見直しのスキームが必要である。また、湖沼計画、水質総量削減計画といった行政計画では、原単位としてはCODMn、TN、TPの3種についてのみ設定されているが、今後TOCや各物質の形態別負荷についても原単位を設定していくことが望まれる。計画により負荷量算出の考え方（原単位等）が異なるため、同じ自治体であっても瀬戸内海環境保全特別措置法と湖沼水質保全特別措置法（湖沼法）に基づく総量規制や流域管理、流域別下水道整備総合計画における発生負荷量の算出に異なる原単位が使用されており部局横断的に調整していく取り組みも必要であると考えられる。

#### e. これからの原単位のあり方について

環境省の非特定汚染源に係るガイドラインでは、非特定汚染源について用途と利用という二つの側面からの区分が行われている。このガイドラインでは、計算の基礎となる排出負荷原単位が与えられていないため、どのような原単位を使うかによって排出負荷量原単位の結果は大きく変わる。降水、森林、農地、市街地のより確かな排出負荷原単位を求めるための調査方法が示されており、将来的にはこうした調査結果の蓄積により科学的に根拠のある実態に即した排出負荷原単位が取りまとめられることが期待される。

非特定汚染源負荷は、予測することが困難な降雨の短期的変化（降雨頻度や降雨強度の変化）と長期的変動（気候変動等による変化）の影響を受ける特徴がある。同時に、対象流域は各地方特有の気候条件（気温、降水量、降雪と融雪）、地理的条件（地形・標高・方位・市街地・農地・畜舎・幹線道路からの距離など）、地質・土壌条件、植生条件（人為的管理の有無を含む）などの自然要因と、農地の施肥条件（施肥の有無、施肥量、施肥の種類と方法、散布時期など）、市街地の下水道整備状況と雨水排除方式（合流式と分流式）、流域の開発・土地利用状況などの人為的要因等という環境条件の違いがある。その結果として、それぞれの原単位の値は地域ごとに大きく違うことになるので、これら諸条件を考慮し、各地域における適切な原単位を用いることが求められる。

原単位を決める調査期間としては、少なくとも1年間実施されている調査を基本とすべきである。調査時期と頻度については、森林・農地では連続的な流量観測とあわせて、週1回以上の頻度の高い水質の定期調査と降雨時調査が行われていること、農地では代かき・田植え、施肥等の各種イベントにあわせた水質調査がされており、都市域では最低、四季に各1回程度の降雨時調査が必要である。また、降雨パターンの異なる調査データを取得することが望ましい。

実際に原単位として使う場合における非特定汚染源ごとの留意点についてまとめた。まず、大気降下物負荷（晴天時の大気降下物負荷と降水負荷を含む）については、晴天時の大気降下物負荷と降水負荷を一緒に採取するデポジット法、あるいはこれに準じる方法で実施されていることに加えて、畜舎や施肥量の多い畑地、煙突や交通量の多い道路等からの排ガスなど人為的発生源の直接的な影響がなく、その地域の平均的な負荷量が把握できる地点の結果を使って原単位とする。なお、降水量は、調査地点で雨量計を設置した実測をしない場合は、近隣の「地域気象観測システム（通称アメダス）」（気象庁）や、「レーダーアメダス」（国土交通省防災情報提供センター）のデータを利用する。森林地域の排出負荷については、森林地域から流出する定期および降雨時の河川調査が行われていることを基本とするが、流量の支配性が高いことから、原単位は自動水位計等による連続水位データからH-Q曲線から求めるなど、密な流量観測データに基づいて計算された原単位を用いる。農業地域からの排出負荷については、雨水の流出に伴って地表面から流出する他、かんがい排水や地下浸透水が浸出あるいは湧出することによっても起こること、降水量の他、地形、地質・土壌、用排水方式、代かき

や田植えの時期、作物の種類（水田ではコメの種類）、施肥方法等を考慮した結果を使う。都市地域排出負荷は、道路、屋根、間地（公園緑地、駐車場、庭等）に降下・堆積した交通粉塵、大気降下物、落葉等が、雨水流出に伴う流出により生じるが、分流式下水道の整備された地域においては、降雨時に雨水管ないし雨水排水路から排出される負荷量を測定した結果により総負荷量を包括的に捉えることができる。一方、下水道未整備地区、合流式下水道整備地区、排水システムが複雑な地区など、発生源と流出との対応ができない、あるいは特定汚染源負荷が流入している場合は、降雨時等に個別の排出源から排出される負荷量を測定結果により、利用区分（道路、屋根、公園、駐車場等）ごとの原単位を決めることが必要である

一般に普及している低価格のデータロガー付水位計を使い実測流量との関係式であるH-Q曲線を作成することで、流量の連続データを得ることができる一方、水質については水温、電気伝導度、濁度などの物理的項目の自動計測は可能であるが、COD、窒素、リン等については、試料は自動採水器で採水できたとしても分析の時間と経費を考えると自ずと限界があり、結果的に原単位を簡便に正確な値を求めることは困難であるが、連続測定が可能な濁度と電気伝導度（EC）のデータを利用して原単位を推定する方法が提案されている。有機物濃度や栄養塩濃度という化学的水質指標と濁度と電気伝導度という物理的水質指標は本質的に異なるものであり、両者の関係やこうした手法についてはさらに研究が必要であるが、原単位の推計手法についての一つの方向性を示唆したものと考えられる。

## 5. 本研究により得られた主な成果

### （1）科学的意義

これまで系統的に収集されていなかった大気降下物、森林、農地、市街地の原単位を整理し、当該文献や報告書に記載の関連情報とともに内容まとめることができた。

現在使用されている原単位の根拠を明確にするとともに、使用されている原単位の問題点について示すことができた。

### （2）環境政策への貢献

環境省水・大気環境局水環境課と密接に連絡をとり、非特定汚染源対策の推進に係るガイドラインに基づいた調査計画の在り方、次回の総量削減に向けた原単位の在り方を検討する際に有用となる知見の提供などに貢献した。

## 6. 研究成果の主な発表状況

### （1）主な誌上発表

<査読付き論文>

特に記載すべき事項はない

### （2）主な口頭発表（学会等）

特に記載すべき事項はない

## 7. 研究者略歴

課題代表者：古米 弘明

1956生まれ、東京大学工学部卒業、工学博士、東北大学工学部助手、九州大学工学部助手、同助教授、茨城大学工学部助教授、東京大学大学院工学系研究科助教授、現在、東京大学大学院工学系研究科教授

研究参画者

（1） 1）：古米 弘明（同上）

2）：駒井 幸雄

1951年生まれ、京都府立大学農学部卒業、兵庫県生活部環境局水質課技術吏員、兵庫県立公害研究所研究員、同主任研究員、兵庫県立健康環境科学センター主任研究員、現在、大阪工業大学工学部教授

3）：井上 隆信

1961生まれ、北海道大学大学院工学研究科卒業、国立環境研究所研究員、同主任研究員、岐阜大学工学部助教授、現在、豊橋技術科学大学大学院工学研究科教授

4）：山田 俊郎

1973生まれ、北海道大学大学院工学研究科卒業、豊橋技術科学大学工学部助手、国立保健医療科学院水道工学部主任研究官、現在、岐阜大学工学部准教授

## RFb-11T1 非特定汚染源からの流出負荷量の推計手法に関する研究

## (1) 非特定汚染源からの流出負荷量の推計手法に関する研究

(社) 日本水環境学会

ノンポイント汚染研究委員会

(東京大学大学院工学系研究科 附属水環境制御研究センター  
水環境制御研究室)

古米弘明

(大阪工業大学工学部 環境工学科 水域環境研究室)

駒井幸雄

(豊橋技術科学大学大学院工学研究科 建築・都市システム学系  
水環境工学研究室)

井上隆信

(岐阜大学工学部 社会基盤工学科 水質安全研究室)

山田俊郎

〈研究協力者〉

(社) 日本水環境学会 ノンポイント汚染研究委員会

土木研究所 つくば中央研究所

鈴木 穰

農業環境技術研究所 物質循環研究領域

江口定夫

農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所

白谷栄作

茨城大学 農学部 地域環境科学科

黒田久雄

愛媛大学 農学部 地域環境工学

治多伸介

関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科

尾崎 平

北里大学 獣医学部 生物環境科学科

嶋 栄吉

京都大学 大学院 地球環境学堂

田中周平

京都大学 大学院 地球環境学堂

藤井滋穂

高知大学 教育研究部 自然科学系農学部門

藤原 拓

滋賀県立大学 環境科学部 環境生態学科

尾坂兼一

滋賀県立大学 環境科学部 環境生態学科

永淵 修

滋賀県立大学 環境科学部 生物資源管理学科

須戸 幹

島根大学 生物資源科学部 地域環境科学科

武田育郎

東京大学 環境安全研究センター

中島典之

東京大学 総括プロジェクト機構

村上道夫

東京理科大学 理工学部 土木工学科

二瓶泰雄

鳥取大学 農学部 生物資源環境学科

芳賀弘和

鳥取大学 大学院 工学研究科

増田貴則

富山県立大学 工学部 環境工学科

川上智規

豊橋技術科学大学 大学院 工学研究科

横田久里子

人間環境大学 人間環境学部

長井正博

広島大学 大学院 工学研究科

尾崎則篤

北海道大学 農学部 農業工学科	山本忠男
山口大学 大学院 理工学研究科	山本浩一
山梨大学 大学院 医学工学総合研究部	西田 継
立命館大学 理工学部 環境システム工学科	市木敦之
群馬工業高等専門学校 環境都市工学科	宮里直樹
豊田工業高等専門学校 環境都市工学科	松本嘉孝
長野工業高等専門学校 環境都市工学科	酒井美月
大阪市立環境科学研究所	新矢将尚
滋賀県琵琶湖環境科学研究センター	大久保卓也
滋賀県琵琶湖環境科学研究センター	佐藤祐一
福岡県保健環境研究所 環境科学部 水質課	熊谷博史
琵琶湖・淀川水質保全機構	和田桂子
パシフィックコンサルタンツ株式会社	上原 浩
Finnish Forest Research Institute, Joensuu Research Unit	井手淳一郎

平成23年度予算額：13,000千円

予算額は、間接経費を含む。

**【要旨】** 1970年代以降閉鎖性海域の富栄養化対策として総量規制が実施されているが、汚濁源のうち面源からの汚濁負荷量については適切な評価がされているとは言えず、例えば瀬戸内海において使われている原単位は、1980年からほとんど変更されていない。これまでに明らかとなった科学的な知見に基づいて、面源に関わるそれぞれの原単位を再評価し、新たな原単位が提案されるべきである。そこで、市街地、農地、森林、大気降下物に関わる文献を収集して解析をし、流域情報と原単位を含む統一様式によるデータベースを構築した。データベース化できたデータ数は、市街地506件、農地850件、森林317件、大気降下物20625件である。また、これに基づいて各面源の原単位の平均値、中央値、およびその他の統計値について面源毎に表として整理した。市街地については、TN、TP、CODの最大値と最小値には約1000倍の差があり、中央値を中心とした全体の半数に限っても約10倍の差があった。農地には水田、畑地、果樹園、茶畑、施設園芸、草地、転作田や放棄地が含まれていた。森林については、収集した国内外の文献について、汚濁負荷流出に関わる外部要因としての気候と気象、内部要因としての地形、地質、土壌、植生、土地利用などを抽出し、特に降雨時調査の重要性を指摘した。データベースの構築に加えて、原単位の現状と今後のあり方について検討した。まず、辞典等における原単位の定義や使用の歴史をまとめ、次に、総量規制において使用されてきた栄養塩類とCODの原単位の根拠を明らかにするとともに、原単位の使われ方、問題点と課題を整理し、今後の原単位のあり方について検討を行った。

**【キーワード】** 非特定汚染源、原単位、推計手法

## 1. はじめに

湖沼や内湾などの閉鎖性水域の富栄養化対策として、総量規制や湖沼保全計画に基づき、家庭や工場等の特定汚染源からの発生負荷量は削減されているものの、わが国の内湾や湖沼の栄養塩濃度は依然低下していない状況にある。この原因として、非特定汚染源からの発生負荷量が正確に評価されていないこと、しかも実際には非特定汚染源からの流出負荷の比率が高く、それが減少していないあるいは増加しているため、特定汚染源からの負荷の削減が対象となる内湾や湖沼への実際の流入負荷の削減に結びついていないことが指摘されている。現在用いられている原単位は、特に東京湾・伊勢湾・瀬戸内海の総量規制で用いられているものは、1980年の開始時からほとんど変更されておらず、その後の非特定汚染源からの流出負荷の変化や降雨時に多量に流出するという研究成果等が反映されていない。このため、最新の研究成果に基づき、非特定汚染源からの流出負荷量について再検討を行い、実態を反映した推定手法に改める時期に来ている。また、環境省の「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン」には非特定汚染源負荷の調査に係る基本的な考え方が、調査対象地域、調査項目、調査期間・頻度、調査手法について整理されている。しかし、最新の文献やデータを基に非特定汚染源を科学的に評価する考え方やその手法を、継続的に検討することが期待されている。

## 2. 研究開発目的

本研究では、非特定汚染源からの汚濁負荷量を適正に把握・評価し、湖沼・内湾への全流入負荷量に対する非特定汚染源の位置づけを、最新の科学的知見をもとに明確にすることを目的とする。具体的には、非特定汚染源の市街地、農地、森林に分けて各非特定汚染源からの有機汚濁物質、富栄養化要因物質の窒素およびリン等の流出に関する文献や観測データを収集し、収集したデータの流域情報と負荷量に関するデータベースを作成するとともに、原単位に関する考え方について整理し、新しい原単位の推定手法の提案を行うことを目的としている。

## 3. 研究開発方法

市街地、農地、森林の流出負荷量や原単位と、それらに関連する流域や水文条件等の情報を学術論文や研究機関等の調査報告書等から収集しデータベースを作成する。同時に、大気降下物による負荷についても同様に情報を収集し、データベースを作成する。更に既往の文献と今回得られた情報、整理したデータベースから、非特定汚染源の原単位の考え方や課題を検討し、これまでの原単位の算定手法や水域管理における原単位法の適用の現状と課題について明らかにし、非特定汚染源制御に関する現実的な方法論について検討する。具体的には、原単位の定義と歴史、実測値からの原単位の算出方法および算出根拠、面源にかかる原単位の利用方法・使われ方、現状の問題点と課題、これからの原単位のあり方、についてそれぞれ検討する。

## 4. 結果及び考察

市街地、農地、森林の原単位および大気降下物による負荷（原単位）について、既報の文献等から関連する情報を収集・整理し、データベースを作成するとともに、現状の原単位の問題点と改善のための課題を明らかにした。

### (1) 市街地の原単位情報の収集とデータベース化

これまでに学術論文や報告書等として公表されている市街地非特定汚染調査事例（主として国内のもの）を収集した。原単位の整理が最終的な目的ではあるが、原単位が提示されていない文献であっても、資料価値があると考えられるものはデータベースに掲載した。同様に、参考として国外の事例も一部データベースに含めた。

データベース化の際には以下のような項目立てとした。

文献情報：表題・資料タイトル、著者名、公表年、収録雑誌名、巻号、掲載ページ

文献内容：概要、地点情報、流域情報、土地利用情報、時期、調査方法、降雨時調査、  
気象情報、対象物質、原単位

データベース化した件数は合計で506件となった。その内訳は以下のとおりである。

報告書等：301件

学術雑誌：和文131件、英文74件

報告書等301件のうち、170件が土木研究所および国土技術政策総合研究所の資料、5件が地方環境研究所報告書であり、それ以外の126件は国および地方自治体の委託業務等の報告書である。後者は広く公開されていない又は容易に入手できない資料が多く、これらがデータベースとしてまとめられたことは実務上の意義が大きいと言える。

学術雑誌については、検索対象雑誌数25誌（和文14誌、英文11誌）であり、各雑誌からのデータベース化件数を表(1)-1に、データベース化された例を図(1)-1に示す。単に原単位の値を示すだけでなく、調査方法や原単位の求め方も表記した点に特色がある。

表(1)-1 各雑誌からのデータベース化件数

雑誌名	データベース化件数
環境工学研究論文集	31
環境システム研究論文集	18
水工学論文集	17
用水と廃水	17
水環境学会誌（旧名：水質汚濁研究）	12
環境技術	8
下水道協会誌（論文集）	7
土木学会論文集	6
環境工学研究フォーラム講演	6
全国環境研会誌（旧名：全国公害研会誌）	3
環境科学会誌	3
環境化学	1
水処理技術	1
資源環境対策	1
Water Science and Technology	22
Chemosphere	15
Science of the Total Environment	13
Urban Water Journal	13
Environmental Science and Technology	5
Journal of Water and Environment Technology	3
Urban Water	2
Water Research	1
Water Practice and Technology	0
Water Environment Research	0
Journal of Environmental Engineering、 American Society of Civil Engineers	0

【管理#】	wk10	105								
文献情報	表題・資料名	平成6年度琵琶湖研究所委託研究報告書 都市域地表堆積汚濁物および降雨時流出負荷量調査								
	著者名	滋賀県琵琶湖研究所, 山田淳								
	収録雑誌名	巻号: _____ ページ: _____								
分類と目的	都市:	1	目的:	異常渇水後の都市域から琵琶湖への汚濁負荷量の予測						
	農地:									
	林地:									
	流域:			コメント・特記事項:	1年目渇水年(1994年の降雨880.5mm)および2年目平水年(1986年の降雨1365mm)における都市域からの年比負荷量の予測					
	その他:									
地点情報と流域情報	地名:		緯度:		形状係数:					
	標高:		経度:		平均勾配:					
	都道府県:	滋賀県			流域面積:					
	水系:				流路延長:					
					河川次数:					
土地利用情報	都市:									
	農地:									
	林地:									
	その他:									
時期と調査方法	観測開始日:		水質観測頻度							
	観測終了日:									
	観測期間:		採水頻度							
	マニュアル:		流量観測頻度							
	自動採水器:									
	その他:									
(コメント):										
降雨時調査	降雨時調査実施の有無:		(コメント1)降雨強度など:							
	観測イベント		(コメント2)その他、先行晴天日数、継続時間など:							
	最小雨量(mm)									
	最大雨量(mm)									
気象情報	実測:		実測	方法:		モデル	モデル名:			
	観測値の利用			場所:			(コメント):			
	モデル等推測		アメダス地点		その他	アメダス地点:				
	その他:		観測値	提供機関			(コメント):			
			観測地点							
			アメダス地点							
対象物質	全窒素(TN):		全リン:		T-COD(Mn):		SS:		重金属:	
	溶存態窒素:		溶存態リン:		D-COD(Mn):		濁度:		(コメント):	
	硝酸:		リン酸態リン:		TOC:		(コメント):		その他:	
	亜硝酸:		その他:		その他:		(コメント):		(コメント):	
	アンモニア:		(コメント):		(コメント):					
	その他:									
	(コメント):									
原単位(結果)	窒素	数値:	1年目2.01	2年目2.35						
		単位:	t/km2・年							
	リン	数値:	1年目0.311	2年目0.401						
		単位:	t/km2・年							
	有機物	数値:	CODとして 1年目6.95	2年目8.04						
		単位:	t/km2・年							
	TOC	数値:								
		単位:								
	SS	数値:	1年目127.8	2年目140.8						
		単位:	t/km2・年							
その他	数値:									
	単位:									
	原単位の求め方:	都市地表面(不浸透面)堆積汚濁物調査、降水、降下物調査、堆積物降雨時流出負荷量調査によるデータからの予測計算であるが詳細は不明								
その他	都市地表面(不浸透面)堆積汚濁物調査、降水、降下物調査、堆積物降雨時流出負荷量調査による長期渇水時の堆積堆積量、流出負荷量を予測計算									

図(1)-1 データベース化の例

データベース化された484件のうち、実際に原単位の情報が得られたものは313件である。窒素が273件、リンが190件、有機物（COD、BOD、TOC）が141件、SSが90件、その他（重金属や炭化水素等）が29件である（一つの文献で複数の項目の原単位を掲載しているものがあるため、単純合計は313を超える）。

これらのデータについて解析した結果を以下に記す。

まず、原単位が記載された資料について、降雨調査時の採水頻度をとりまとめた。一部詳細な記載がないものを除いて、調査での採水頻度は平均11回(中央値9回)であった。

また、それぞれの採水方法を整理すると、「時間単位」もしくは「採水容器単位」に分けられた。採水頻度の概要を表(1)-2に示す。時間単位で実施する調査では、そのほとんどが、降雨開始の流出初期は5～15分間隔の短時間の高頻度で採水が行われ、その後は1時間間隔となり、おおよそ4時間～6時間後までを調査対象としていた。なかには、降雨強度等によって随時調査頻度を増減して対応している事例もあった。このように、時間単位での採水では、降雨時の初期流出水（ファーストフラッシュ排水）を捉えるために、降雨開始1時間以内の詳細な把握に重点が置かれていると考えられる。さらに、最近では自動センサーによる時間間隔で実施している調査もみられた。

一方、採水容器単位の調査は、2L、10L、20L等のポリ容器を用いて、満水になる時点で1試料としている。ただし、弱い降雨時で満水までに長時間かかる場合などは、調査に支障がないように適宜、回収するなどの対応をしていた。採水容器を用いた調査では、一降雨全量を採水する事例が多く、降雨時の汚濁負荷量の把握に重点が置かれていると推察される。

表(1)-2 採水頻度の概要（一部抜粋）

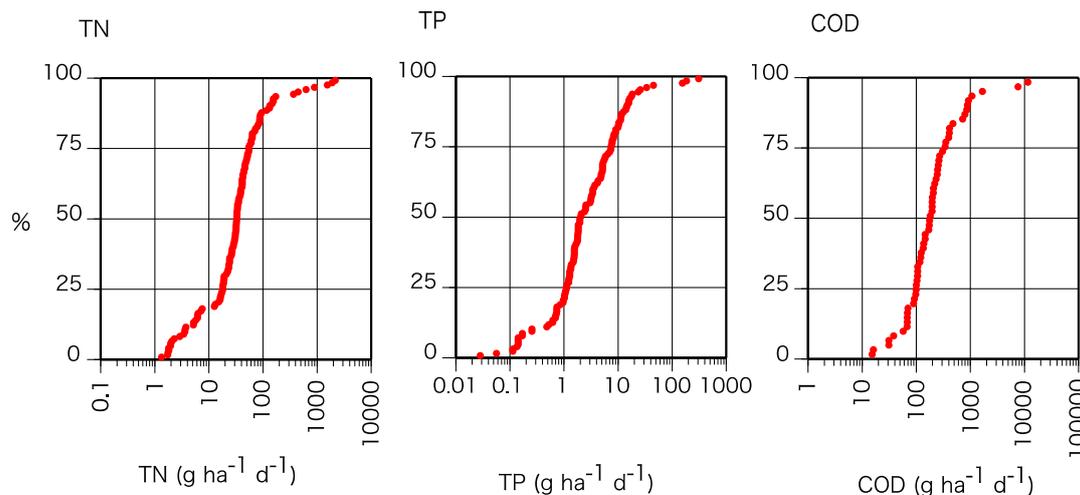
時間 単 位 型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 降雨の初期は5分間隔、後期は20分間隔で採水</li> <li>・ 降雨開始から15分、30分、45分、1時間、2時間、3時間、4時間、5時間</li> <li>・ 降雨初期から1時間は15分間隔で、その後は1時間間隔。調査途中、電気伝導率、濁り又は流出量に著しい変化が認められた場合は、随時調査頻度を増減し降雨初期から約6時間程度まで調査</li> <li>・ 雨が降り始めてから0.5時間後、1時間後、1.5時間後、2時間後、2.5時間後、3時間後及び4時間後</li> <li>・ 流出開始直後、15分後、30分後、60分後、2時間後、4時間後</li> <li>・ 流出開始直後、15分後、35分後、60分後、3時間50分後、4時間15分後、5時間後、6時間後</li> <li>・ 1降雨につき、数分～数時間ピッチで時間帯毎に採水。</li> <li>・ 降雨初期は5分間隔、その後適宜10分から1時間程度</li> <li>・ 流出初期は約5分、その後適宜30分～1時間間隔</li> <li>・ 降雨時調査は5～10分間隔で採水</li> <li>・ 降雨直後は1～2時間間隔、その後は4～6時間間隔</li> <li>・ 流出開始0、5、10、15、20、30、45、60、90、120分後</li> <li>・ 自動センサー等での間隔</li> </ul>
採 水 容 器 型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 容量20Lのポリタンクが一定間隔になるように採水</li> <li>・ 流出開始から終了までの全量を、10Lまたは20Lポリタンクが満水になるまで採水</li> <li>・ 降り始めからの降雨流出量が1mm、2mm、3mm、4mm、5mmの時</li> <li>・ 全量計測取水または一定時間ごとの採水</li> <li>・ 2L貯まるごと</li> <li>・ 降雨開始から路面排水流出終了まで、一定水量毎もしくは単位時間毎</li> </ul>

原単位には、重量/面積/時間の他に、重量/面積という表記のものもあった。その中でも、重量/面積/時間という原単位でまとめた結果について下記に記す。図(1)-2には全窒素(TN)、全リン(TP)、CODについて得られた原単位値の累積分布を示す。最小値から最大値までは約1000倍の開きがあり、25%位~75%位(中央値付近の全体の半数)に限定しても約10倍の開きがあることが分かる。表(1)-3には各項目のデータ数、原単位の中央値、25%位~75%位、および幾何平均値を示す。また、比較のために第6次水質総量削減計画の値を掲載した。各原単位の中央値や幾何平均値は第6次水質総量削減計画の値よりも高く、特にCODについては1けた以上高かった。

図(1)-3に、同時に調査報告されているTNとCODおよびTNとTPの原単位について、それぞれの相関図を示す。いずれも相関性が見られ一桁程度の変動範囲に収まっており、相互の相関が強いことがわかる。

図(1)-4にはTNを例として原単位の時間的変遷を示す。ライフスタイルの変化や土地被覆状況の変化などにより市街地非特定汚染の原単位に何らかの時間的変化が認められることも想定されたが、今回の調査結果を見る限りはそのような変動は認められなかった。TPやCODについても同様の結果が得られ、原単位の汚濁負荷を検討する際に最新の調査事例に限定する必要性が低いことが示された。

データベース化の例を表(1)-4に示す。同一報告書内のデータであってもサンプリング地点が違う場合には行を変え、それぞれの原単位を表示した。

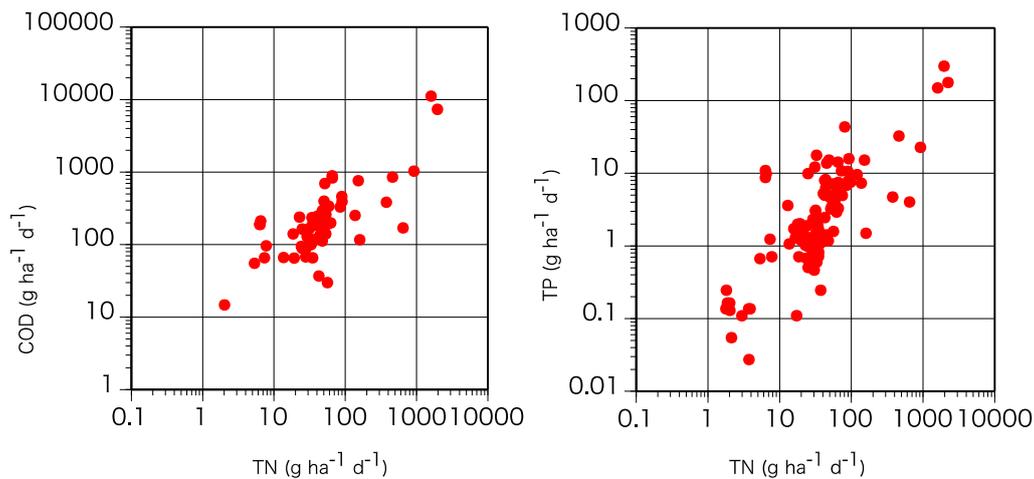


図(1)-2 得られた市街地原単位の累積分布

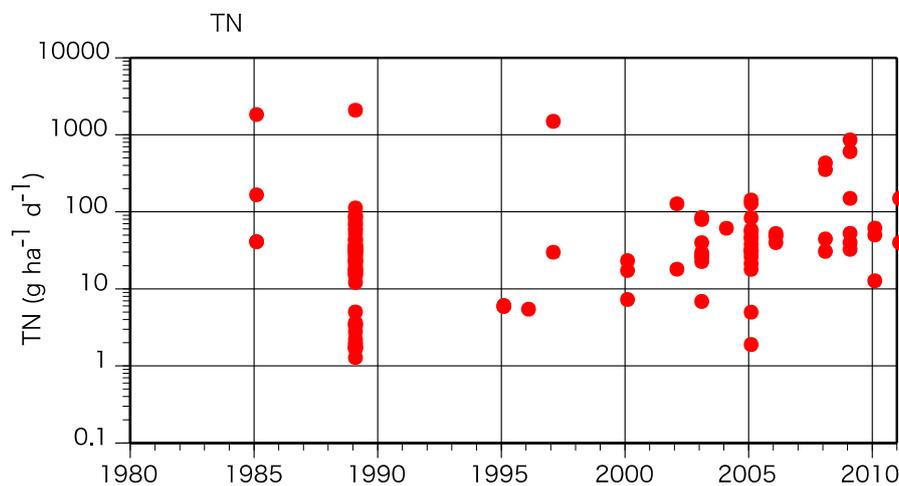
表(1)-3 得られた市街地原単位の中央値および幾何平均値

$\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$	COD	TN	TP
データ数	59	120	125
中央値	173	32	2.0
25%位~75%位	96~314	17~53	1.1~7.2
幾何平均値	187	29	2.4
第6次計画*	10	19	0.49

\*  $\text{kg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$ を $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ に換算



図(1)-3 全窒素 (TN)、全リン (TP)、CODの原単位の報告値の相関性



図(1)-4 全窒素 (TN) に関する市街地原単位の報告値の変化 (横軸: 報告書発刊年)

## (2) 農地の原単位情報の収集とデータベース化

農地からの流出負荷量や原単位を記載している文献を、学術雑誌や研究機関等の報告書から収集し、データベース化した。対象成分は窒素、リン、有機物としたが、それ以外の濁度成分 (SS)、重金属も含めた。文献の収集年代は、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の総量規制が行われた1980年以降とした。また、流出負荷量や原単位の変動要因を解析するために、データベースには調査地の状況 (土地利用状況、土壌条件、施肥量、農法など) も記載した。

利用した学術雑誌は、水環境学会誌、Water Research、Journal of Water Environmental Technology、Water Science and Technology、農業農村工学会論文集 (旧農業土木学会論文集)、日本土壌肥料学雑誌、水文・水資源学会誌、環境科学会誌、陸水学雑誌、用水と廃水、土木学会誌、水工学論文集、水利科学、Agricultural Water Management、土壌の物理性、日本作物学会紀事、園芸学研究の計17誌である。研究機関などの報告書は、農水省研究所報告書、地方農政局報告書、都道府県農業試験場報告書、都道府県 (市) 公害 (環境) 研究所報告書を調べた。

表(1)-4 市街地からの原単位データベース (一例)

表題・資料タイトル	著者名	公表年	収録雑誌名	巻号	掲載ページ	原単位			COD		
						TN		TP			
						数値	単位	数値		単位	
鹿ヶ浦汚濁機構精製事業等業務委託-第6期湖沼水質保全計画策定に係る検討一報告書	茨城県環境対策課 株式会社日水コン	2011			8-14	14.6	kg/ha/y	0.9	kg/ha/y	82.3	kg/ha/y
鹿ヶ浦汚濁機構精製事業等業務委託-第6期湖沼水質保全計画策定に係る検討一報告書	茨城県環境対策課 株式会社日水コン	2011			8-14	1.5	kg/km <sup>2</sup> /d	0.15	kg/km <sup>2</sup> /d	11.7	kg/km <sup>2</sup> /d
平成21年度 環境省請負業務報告書	株式会社日水コン	2010			36	61.8	g/ha/d	3.31	g/ha/d	832	g/ha/d
平成21年度 環境省請負業務報告書	株式会社日水コン	2010			30	50.3	g/ha/d	4.6	g/ha/d	261	g/ha/d
平成21年度 環境省請負業務報告書	株式会社日水コン	2010			27	12.8	g/ha/d	1.07	g/ha/d	66.6	g/ha/d
平成21年度 環境省請負業務報告書	株式会社日水コン	2010	Water Science and Technology	61/2	345-354	3.5	kg/km <sup>2</sup> /d	0.18	kg/km <sup>2</sup> /d	29.9	kg/km <sup>2</sup> /d
平成20年度 流出水対策モデル計画策定調査報告書	千葉県	2009			3章	32.7	g/ha/d	0.72	g/ha/d	65.9	g/ha/d
平成20年度 流出水対策モデル計画策定調査報告書	千葉県	2009			3章	52.8	g/ha/d	1.59	g/ha/d	191.8	g/ha/d
平成20年度 流出水対策モデル計画策定調査報告書	千葉県	2009			3章	862.8	g/ha/d	22.78	g/ha/d	1,035.9	g/ha/d
平成20年度 流出水対策モデル計画策定調査報告書	千葉県	2009			3章	607.3	g/ha/d	4.04	g/ha/d	170.5	g/ha/d
諏訪湖流入河川汚濁負荷実態調査	吉田富美雄, 柳町信吾, 堀順一, 渡辺哲子, 佐々木一敏, 飯田幸雄	2009	全国環境研誌	34(2)	125-132	20 (晴天時) 62 (雨天時)	g/ha/d	1.0 (晴天時) 4.7 (雨天時)	g/ha/d	41 (晴天時) 221 (雨天時)	g/ha/d
諏訪湖流入河川汚濁負荷実態調査	吉田富美雄, 柳町信吾, 堀順一, 渡辺哲子, 佐々木一敏, 飯田幸雄	2009	全国環境研誌	34(2)	125-132	62 (晴天時) 245 (雨天時)	g/ha/d	0.9 (晴天時) 5.5 (雨天時)	g/ha/d	61 (晴天時) 247 (雨天時)	g/ha/d
平成19年度 流出水対策モデル計画策定調査報告書	千葉県	2008			4章	44.7	g/ha/d	1.18	g/ha/d	112.6	g/ha/d
平成19年度 流出水対策モデル計画策定調査報告書	千葉県	2008			4章	30.8	g/ha/d	1.18	g/ha/d	100.0	g/ha/d
平成19年度 流出水対策モデル計画策定調査報告書	千葉県	2008			4章	432.1	g/ha/d	32.63	g/ha/d	855.2	g/ha/d
平成19年度 流出水対策モデル計画策定調査報告書	千葉県	2008			4章	353.9	g/ha/d	4.73	g/ha/d	385.4	g/ha/d
市街地雨水汚濁負荷量の測定・計画手法に関する調査	下水道研究室 藤生和也, 吉田敏章, 田本典秀	2007	国土技術政策総合研究所資料	404	3	0.28	kg/ha	0.03	kg/ha	2.22	kg/ha
市街地雨水汚濁負荷量の測定・計画手法に関する調査	下水道研究室 藤生和也, 吉田敏章, 田本典秀	2007	国土技術政策総合研究所資料	404	3	0.022	kg/ha	0.002	kg/ha	0.126	kg/ha
市街地雨水汚濁負荷量の測定・計画手法に関する調査	下水道研究室 藤生和也, 吉田敏章, 田本典秀	2007	国土技術政策総合研究所資料	404	3	0.03	kg/ha	0	kg/ha	0.18	kg/ha
湖沼水質のための流域対策の基本的考え方	福島武彦, 古米弘明ら	2006	湖沼水質のための流域対策の基本的考え方		参考資料14	8.4-76.4	g/ha/d	0.70-9.00	g/ha/d	37.0-578	g/ha/d
湖沼水質のための流域対策の基本的考え方	福島武彦, 古米弘明ら	2006	湖沼水質のための流域対策の基本的考え方		参考資料14	22.5-77.8	g/ha/d	2.37-4.65	g/ha/d	141-2528	g/ha/d
透水性舗装効果検証業務報告書	(財)琵琶湖・淀川水質保全機構	2006				48.5	g/ha/d	3.24	g/ha/d	698	g/ha/d
雨天時における路面排水負荷対策に関する調査	下水道研究室 藤生和也, 吉田敏章, 田本典秀	2006	国土技術政策総合研究所資料	323	3	0.3	kg/ha	0.033	kg/ha	2.5	kg/ha
雨天時における路面排水負荷対策に関する調査	下水道研究室 藤生和也, 吉田敏章, 田本典秀	2006	国土技術政策総合研究所資料	323	3	0.022	kg/ha	0.002	kg/ha	0.13	kg/ha
雨天時における路面排水負荷対策に関する調査	下水道研究室 藤生和也, 吉田敏章, 田本典秀	2006	国土技術政策総合研究所資料	323	3	0.023	kg/ha	0.002	kg/ha	0.15	kg/ha

## 1) 水田

## a. 収集データ

収集できた文献数は72であった。その内訳を表(1)-5に示す。学術論文では、農業農工学会論文集からの文献数が最も多く、農業土木分野で活発な調査・研究が行われていた。報告書では、都道府県農業試験場報告書、都道府県公害研究所報告書の文献数が多く、各地方の環境改善対策の確立を目的に、活発な調査・研究が行われていた。

表(1)-5 各雑誌からの収集文献数

雑誌	文献数
農業農村工学会論文集(旧農業土木学会論文集)	22
都道府県農業試験場報告書	12
日本土壌肥科学雑誌	9
都道府県公害研究所報告書	9
地方農政局報告書	6
Water Science and Technology	4
農水省研究所報告書	3
水文・水資源学会誌	2
Water Research	1
Journal of Water Environmental Technology	1
Agricultural Water Management	1
環境科学会誌	1
陸水学雑誌	1
水環境学会誌, 用水と廃水, 土木学会誌, 水工学論文集, 水利科学	0
合計	72

収集できたデータ数は562であった。この値が文献数72を大きく上回っているのは、1つの文献から複数のデータが得られたためである。

表(1)-6に収集データの内訳を示した。調査期間別では、灌漑期が377件と最も多かったものの、通年、非灌漑期、代かき・田植え時期のデータも合計180件と決して少なくなかった。負荷量計算方法別にみると、単純な排出負荷、差し引き負荷(降雨考慮無し)、差し引き負荷(降雨考慮有り)の3種類ともに150件以上と多くのデータがあった。測定頻度は、精密(週1回以上)、多(週1回から月1回)が、それぞれ200件以上と多かった。それらを合わせると全体の85%以上となり、今回の作業では、比較的信頼性の高いデータが多く収集できたと考えられた。調査場所は、現場の水田群、一筆水田が多く、合わせると479件(全体の85%以上)あった。このことは、今回の作業によって、現場の実態を把握するのに有用なデータが多く収集できたことを示唆する。農法については、慣行農法は219件と多かったものの、全体の半数以下に留まった。これは「水田からの排出負荷の実態解明」のみを目的とした文献が決して多くなく、「排出負荷を減らすための技術」すなわち「改善農法」に関する文献が多かったためである。そのため、慣行農法のデータの大部分は、改善農法の比較対象として採られたデータであった。土壌については、半数以上のデータで記載がなかったものの、明示されているものの種類は多様であり、土壌区分別では8種類、土性(国際土壌学会区分)別では5種類が存在した。このことは、今回収集したデータが、全国の広範な地域で採取されたものであることを示唆する。

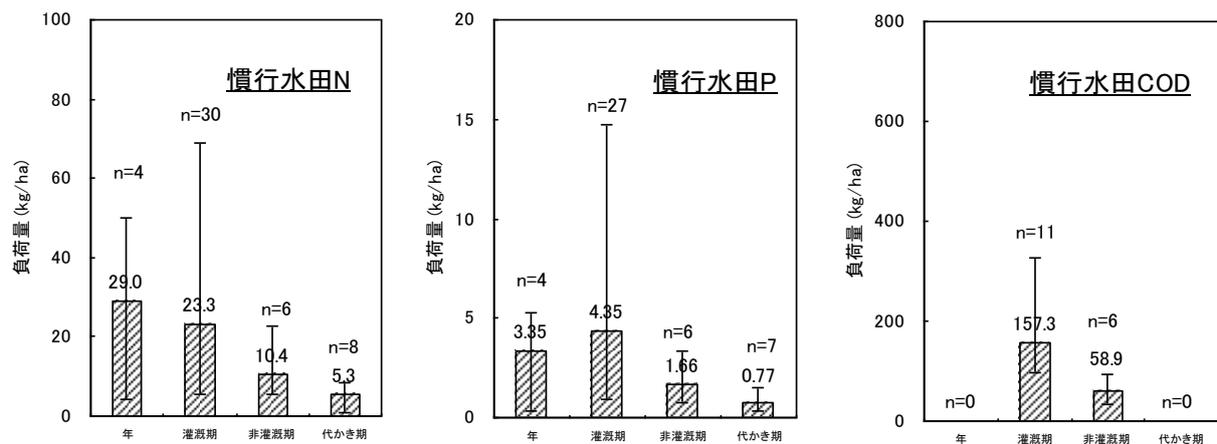
表(1)-6 収集データの内訳

全データ数			562
調査期間	通年		80
	灌漑期		377
	非灌漑期		64
	代かき・田植え時期		36
	その他		4
負荷量計算方法	排出負荷		239
	差し引き負荷（降雨考慮無し）		159
	差し引き負荷（降雨考慮有り）		239
	その他		13
測定頻度	精密（週1回以上）		222
	多（週1回～月1回）		258
	少（月1回以下）		14
	不明		68
調査場所	圃場	水田群	188
		一筆田	291
	ライシメータ		77
	その他		6
農法	慣行		219
	改善	循環灌漑	90
		側条施肥	17
		苗箱施肥	9
		慣行肥料	2
		減代かき	5
		無代かき	13
		浅水	12
		止め水	15
		不耕起	19
		その他	18
土壌	土壌区分	黒ボク	9
		黄色土壌	30
		褐色低地土壌	3
		灰色低地	29
		グライ土壌	44
		細粒グライ土壌	82
		粗粒グライ土壌	82
		泥炭土壌	6
		その他	277
		土性	LiC
	CL		50
	SL		8
	SCL		23
	HC		38
	不明		389

### b. 慣行水田からの排出原単位

図(1)-5に、収集したデータのうち、慣行農法の現場水田（水田群・一筆水田）における窒素、リン、COD<sub>Mn</sub>の単純排出負荷量のデータをまとめた。調査頻度については、1ヶ月1回以上のもの（表(1)-6の、「精密」と「多」）だけを選んだ。

まず窒素について、窒素の排出負荷量の年平均は29.0kg/ha、灌漑期平均は23.3kg/ha、非灌漑期平均は10.4kg/ha、代かき・田植え期平均は5.3 kg/haであった。第6次水質総量削減計画の面源原単位（以下、削減計画原単位）は28kg/ha/yrであり、今回得られた年平均（29.0kg/ha）は、ほとんど同じ値であった。また、排出負荷量の多くを占めると考えられる灌漑期の値（23.3kg/ha）も、削減計画原単位と大差はなかった。以上のことから、削減計画原単位は、比較的有効性の高い値であることが示唆された。



図(1)-5 慣行水田の排出負荷量の平均値、最大値、最小値

一方、リンについては、排出負荷量の年平均は3.85kg/ha、灌漑期平均は4.35kg/ha、非灌漑期平均は1.66kg/ha、代かき・田植え期平均は0.77 kg/haであった。リンに関する削減計画原単位は0.37kg/ha/yrであり、今回得られた年平均(3.85kg/ha)はそれを大きく上回っていた。同様に、灌漑期平均(4.35kg/ha)や非灌漑期平均(1.66kg/ha)についても、削減計画原単位を大幅に上回っていた。すなわち、リンについては削減計画原単位の値の妥当性はあまり高くなく、実際の実原単位は削減計画原単位よりもかなり大きい可能性が示唆された。

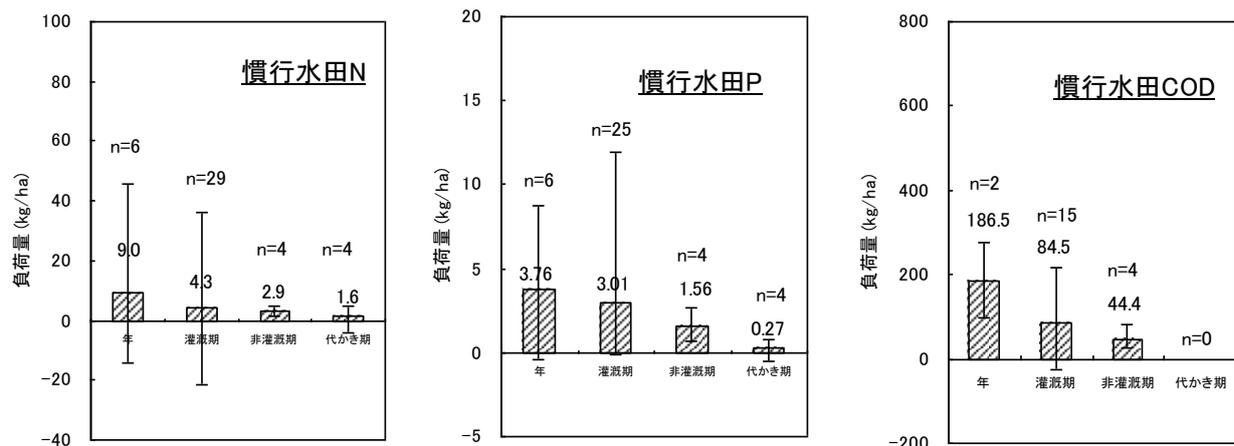
CODについては、データ数が17件で、窒素、リンに比較してデータ数はかなり少なかったが、灌漑期平均は157.3kg/ha、非灌漑期平均は58.9kg/haの値が得られた。削減計画原単位は6.48kg/haであるため、今回得られた灌漑期の値(157.3kg/ha)は、それと比較してかなり大きいものであった。したがって、CODについてもリンの場合と同様に、削減計画原単位の値の妥当性は必ずしも高くなく、実際の実原単位は削減計画原単位よりも大きい可能性が示唆された。

図(1)-6に、水田からの差し引き負荷量(降雨考慮有り)のデータをまとめた。示したデータは図(1)-5と同様、慣行農法の現場水田(水田群・一筆水田)における窒素、リン、COD<sub>Mn</sub>のデータである。

窒素については、年平均が9.0kg/ha、灌漑期平均は4.3kg/ha、非灌漑期平均は2.9kg/ha、代かき・田植え期平均は1.6 kg/haであった。これらの値は、図(1)-5の単純排出負荷と比較して、20～30%小さいものであった。この差が生じた原因としては、水田の脱窒機能等の窒素除去作用が強く働いたことが考えられる。したがって、排出原単位を算出する際には、排出負荷で考える場合と差し引き負荷で考える場合に大きな差異が生じることが示唆された。

一方、リンについても、図(1)-5の単純排出負荷に比較して、灌漑期、非灌漑期、代かき・田植え期は小さい値となった。ただし、灌漑期、非灌漑期の平均は、単純排出負荷の70～90%程度であり、年平均は単純排出負荷よりも高い値となっていた。これらのことは、リンに対して水田の水質浄化作用は、あまり働いていないことを示唆している。また、排出原単位を考える際には、単純な排出負荷で考えても、差し引き負荷で考えても、窒素の場合ほどの大差は生じないと考えられる。

CODについては、図(1)-5の単純排出負荷に比較して、灌漑期では50%程度となっていた。すなわち、水田の水質浄化作用はCODについても働いており、排出原単位を求める際に、排出負荷で考える場合と差し引き負荷で考える場合には比較的大きな差が生じる可能性が考えられた。

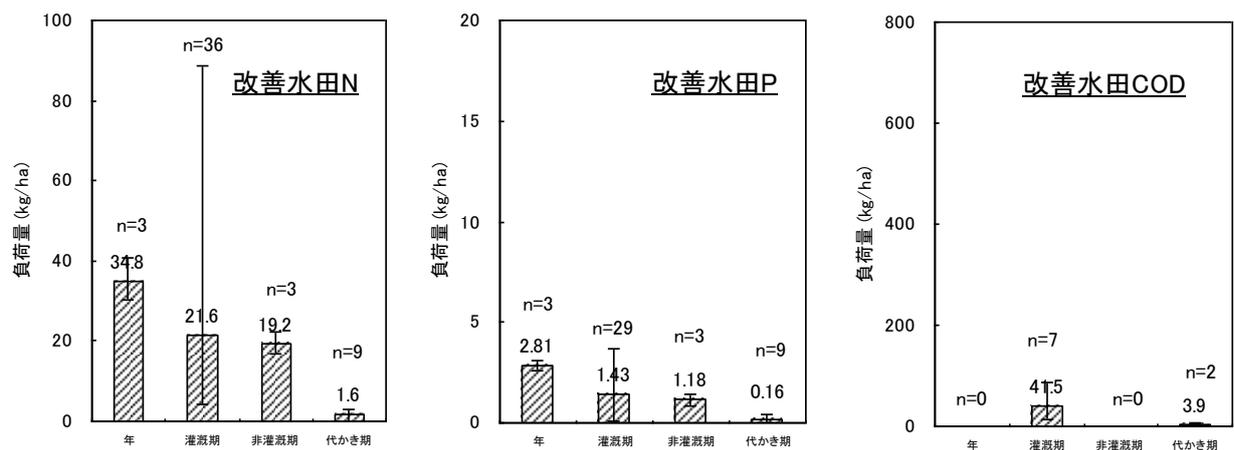


図(1)-6 慣行水田の差し引き排出負荷量(降雨考慮有り)の平均値、最大値、最小値

### c. 改善水田からの排出原単位

図(1)-7には、排出負荷量削減のため、農法に何らかの改善(表(1)-6参照)が行われた現場水田(水田群・一筆水田)における窒素、リン、COD<sub>Mn</sub>の単純排出負荷量のデータをまとめた。ここでも、調査頻度については1ヶ月1回以上のものだけを選んだ。

窒素については、図(1)-5と比較して排出負荷の削減効果が高かったのは代かき・田植期(70%削減)であり、年間、灌漑期、非灌漑期の削減効果は顕著ではなかった。一方、リンについては、窒素よりも排出負荷の削減効果は高く、図(1)-5と図(1)-7を単純に比較すると、削減率は灌漑期で67%、代かき・田植え時期で80%と特に大きな値が得られた。CODについても、図(1)-5と図(1)-7を比較した場合の、灌漑期での削減率は74%であった。



図(1)-7 改善水田の排出負荷量の平均値、最大値、最小値

以上のことから、改善農法が広く取り入れられている地域では、慣行農法が主体の地域の原単位とは異なった値を使うことが重要であると考えられる。また、その重要性は、窒素に比較してリンとCODで特に高いと言える。

表(1)-7には、灌漑期における、様々な改善農法による単純排出負荷量の削減効果に関するデータをまとめた。この表に用いた文献は、改善農法だけでなく、慣行農法による比較調査も行われており、かつ調査頻度が高いものだけに限っている。これをみると、不耕起農法以外の改善農法については、排出負荷の削減率は、低くても概ね10%以上で、高い場合は50%以上に達している。したがって、表に示されている改善農法が広く導入されている地域においては、慣行農法よりも小さな原単位を使うことが重要と考えられる。

表(1)-7 改善水田の排出負荷量の平均値、最大値、最小値

N	文献数 (データ 数)		排出負荷平均値 (kg/ha)		削減率 (%)
	慣行	改善	慣行	改善	
耕法改善	4(5)	4(9)	14.3	12.4	13%
無代 かき	2(2)	2(2)	15.2	11.3	26%
減代 かき	1(1)	1(2)	15.8	10.3	35%
浅水代 かき	1(2)	1(2)	12.7	11.9	7%
不耕起	1(1)	1(1)	16.3	20.5	-26%
止め水	1(2)	1(2)	12.7	12.3	4%
施肥方法改善	2(2)	2(3)	14.6	10.9	25%
緩効肥料	1(1)	1(1)	12.9	10.9	16%
側条施肥	1(1)	1(1)	12.9	9.4	27%
苗箱	1(1)	1(1)	16.3	12.3	25%
灌漑方法改善	2(4)	2(13)	33.6	36.0	-7%
循環灌 がい	2(4)	2(13)	33.6	36.0	-7%

P	文献数 (データ 数)		排出負荷平均値 (kg/ha)		削減率 (%)
	慣行	改善	慣行	改善	
耕法改善	3(3)	3(5)	3.60	1.99	45%
無代 かき	1(1)	2(2)	2.75	1.68	39%
減代 かき	1(1)	1(2)	5.30	1.45	73%
不耕起	1(1)	1(1)	2.50	3.70	-48%
施肥方法改善	1(1)	1(1)	2.50	1.40	44%
苗箱	1(1)	1(1)	2.50	1.40	44%
灌 がい 方法改善	2(4)	2(13)	1.88	1.36	28%
循環灌 がい	2(4)	2(13)	1.88	1.36	28%

COD	文献数 (データ 数)		排出負荷平均値 (kg/ha)		削減率 (%)
	慣行	改善	慣行	改善	
灌 がい 方法改善	1(3)	1(3)	121.0	60.4	50%
循環灌 がい	1(3)	1(3)	121.0	60.4	50%

なお、不耕起農法で削減率が負の値となっている理由は、灌漑期全体を通じて地下浸透水量が他の農法に比べて増大するためであった。すなわち、不耕起農法は、代かき・田植え時期の排出負荷削減に効果はあるものの、灌漑期全体では、排出負荷量の削減効果は望みづらいと考えられる。

#### d. 原単位の変動要因

原単位の変動要因には、サンプリング頻度、土壌の性質、気象状況などの様々なものが考えられるが、今回のデータから判断すると、特に重要な変動要因と考えられたのは「施肥の量や方法」と「灌漑水量」であった。

具体的には、図(1)-5、図(1)-6で窒素の排出負荷量が特に大きいデータは、畜産堆肥施用等で施肥量が多い場合や、滋賀県で旧来行われていた元肥重点型施肥といった従来型の施肥方法（現在は、追肥重点型）の場合であった。また、リンの排出負荷量が特に大きいデータは、灌漑水量が多く、地表排出量が多い場合のものであった。一方、窒素およびリンの排出負荷量が特に小さいデータは、節水灌漑が行われ、地表排出水量が少ない場合であった。

以上より、水田からの排出原単位を推計するにあたっては、地域の施肥状況と灌漑水量の多少について、特に留意が必要であると考えられた。

## 2) 水田以外の農地（畑地、樹園地、草地、ハス田）および複合流域

### a. 収集データ

水田以外の農地については、畑地（普通畑、水田転換畑）、樹園地（茶、果樹、桑など）、草地（飼料畑、採草地、放牧地など）、ハス田の4つに大別して、文献データの収集・整理を行った。また、異なる農地（地目）から成る複合流域についての負荷量データも収集・整理した。その結果、畑地・樹園地・草地・ハス田については49、複合流域については20の文献が収集された（表(1)-8）。学術雑誌では、日本土壌肥料学雑誌、農業農村工学会論文集で多くの研究が報告されており、公的機関の報告書では、都道府県の農業試験場及び環境（公害）研究所の報告書より、多くのデータを収集することが出来た。

表(1)-8 負荷量データを収集した雑誌等と文献数

書誌名	文献数	
	畑地, 樹園地, 草地, ハス田	複合流域
日本土壌肥料学雑誌	20	0
農業農村工学会論文集(旧農業土木学会論文集)	7	2
都道府県農業試験場報告	6	3
都道府県(市)環境(公害)研究所報告	4	6
農水省研究所報告	3	2
環境工学研究論文集	2	0
水環境学会誌	1	0
水文・水資源学会誌	1	2
土壌の物理性	1	0
日本作物学会紀事	1	0
園芸学研究	1	0
地方農政局報告書	1	0
その他	1	5
合計	49	20

今回の調査により得られた負荷量の全データ数は288、その内訳は、畑地で114、樹園地・草地・ハス田で88、複合流域で86であった（表(1)-9）。これらの負荷量データには、調査期間が1年以上のものが比較的多く含まれており、畑地データの50%、樹園地・草地・ハス田データの93%を占めた。

表(1)-9 水田以外の農地（畑地、樹園地、草地、ハス田）  
及び複合流域の負荷量データの内訳

	畑地	樹園地, 草地, ハス田	複合流域
全データ数	114	88	86
調査期間			
6ヶ月未満	36	2	32
6ヶ月～1年	21	3	12
1～3年	49	59	30
3年以上	8	23	6
負荷量計算方法			
排出負荷	109	86	65
差引負荷	5	1	15
測定頻度			
精密(週1回以上)	41	4	37
多(週1回～月1回)	32	72	28
少(月1回未満)	7	8	15
不明	34	4	6
調査場所			
圃場	41	18	0
ラインメーター	64	70	0
流域(用排水管理区域)	0	0	84
その他	9	0	2
農法			
慣行	40	70	81
改善			
有機物施用	28	1	-
緩効性肥料	17	4	-
不耕起	6	0	-
側条施肥	3	0	-
地下水水位制御	4	0	-
緑肥	3	0	-
硝化抑制	1	0	-
少灌水	2	0	-
草生栽培	0	1	-
マルチ	1	0	-
その他	3	7	-
土壌			
土壌群			
岩屑土	0	1	0
砂丘未熟土	14	0	0
黒ボク土	32	52	18
多湿黒ボク土	6	0	0
褐色森林土	0	15	0
灰色台地土	0	1	0
黄色土	0	4	6
灰色低地土	7	1	0
グライ土	20	4	0
泥炭土	0	0	25
土性			
S	14	14	2
LS	8	7	0
SL	8	28	2
L	4	0	0
SCL	4	0	0
CL	10	13	0
SC	0	4	0
LiC	10	4	0
HC	24	4	0

一方、複合流域については、得られたデータの半分以上が調査期間1年未満のものであり、水田の代かき・田植え期間のみ、水田灌漑期間のみ、積雪寒冷地の融雪期のみ等といった相対的に排出負荷量の多い短期間を対象とした、精密～多頻度の測定データが多かった。特に積雪寒冷地で

は、冬期を含めた通年観測は実施されていなかった。このような調査期間の長さの違いを考慮して、負荷量データの単位は、畑地・樹園地・草地・ハス田についてはkg/ha/yr、複合流域についてはkg/ha/dに換算して整理した。

水田以外の農地における負荷量の観測データは、ほとんどが排出負荷量であり、全体の90%以上を占めた。これは、灌漑水を必要とする水田との大きな違いである。一方、水田を含む複合流域については、差し引き負荷量データが報告されていた。

畑地・樹園地・草地では、圃場条件下での浸透水量を精度良く定量化する簡便な手法が確立されていないため、対象土壌を充填したライシメーターを利用した調査が主体であった。圃場での測定では、埋設型ライシメーターや暗渠を利用する場合が多かった。複合流域の調査は、面積10 ha未満の小集水域から100 km<sup>2</sup>以上の大流域まで、様々な空間スケールを対象に実施されていた。水田地帯を含む地域では、用排水管理区域全体を対象とした調査報告も多く見られた。

畑地では、慣行農法に対して、有機物施用による化学肥料の減肥や、緩効性肥料を用いた肥効の改善などによる負荷量軽減効果を定量的に把握・検証するための調査研究が多く、これら改善農法での負荷量データが60%を占めた。一方、樹園地や草地では改善農法のデータが少なく、慣行農法における負荷量の実態把握が主体であった。

土壌の種類では、黒ボク土を中心として、台地では多湿黒ボク土、褐色森林土、黄色土など、低地では砂丘未熟土、灰色低地土、グライ土、泥炭土などのデータが主に得られた。土性についても、砂土(S)から重埴土(HC)まで、幅広い粒径組成の土壌に関する負荷量データが収集された。

## b. 慣行及び改善農法での排出負荷量

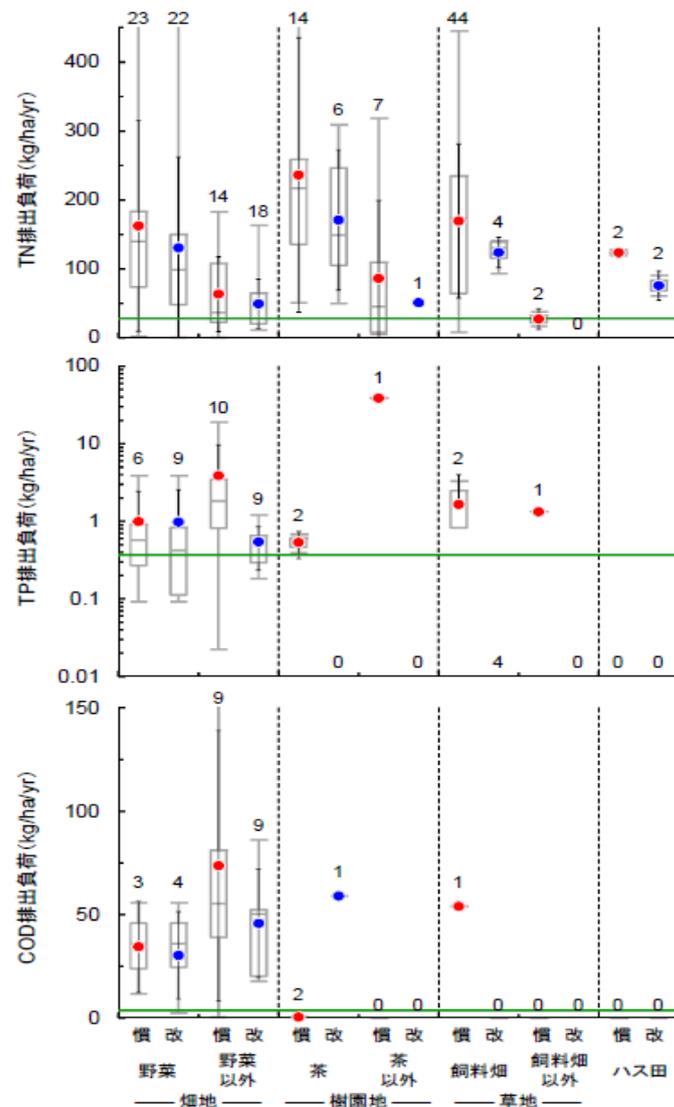
畑地、樹園地、草地、ハス田における窒素、リン及びCOD排出負荷量の算術平均値は、農法（慣行及び改善）の如何に関わらず、削減計画原単位（窒素、リン及びCOD排出負荷量＝28、0.37及び3.7 kg/ha/yr）を大幅に上回るものがほとんどであった（図(1)-8）。この結果は、削減計画原単位を大幅に上方修正する必要があることを強く示唆するものである。

慣行農法での窒素の排出負荷量（算術平均値）は、樹園地（茶）で最も高く（236 kg/ha/yr）、草地（飼料畑）の170 kg/ha/yr、畑地（野菜）の162 kg/ha/yrが、これに次いで高かった。同じ地目（畑地、樹園地、草地）であっても、窒素施肥量の多い作目（野菜、茶、飼料用作物）では、それ以外の作目の3～6倍もの窒素の排出負荷量を示した。また、ハス田は、水田と同様に湛水条件下での栽培を行うが、窒素施肥量が多く、窒素の排出負荷量は124 kg/ha/yrと慣行水田（図(1)-5）の4倍以上の値を示した。

慣行農法でのリン及びCODの排出負荷量（算術平均値）については、それぞれ、畑地（野菜以外）において、3.9及び74 kg/ha/yrとなり、畑地（野菜）の1.0及び34 kg/ha/yrよりも高い値を示した。畑地以外では解析に十分なデータ数を得ることは出来なかったが、樹園地、草地では、少数ながらも畑地と同様の高い値が得られた。

図(1)-8の結果によれば、農法の改善による窒素の排出負荷削減効果は、畑地、樹園地、草地で20～30%程度、ハス田では40%程度と見積もられる。一方、リン及びCODの排出負荷については、それぞれ、畑地（野菜以外）において、約85%及び40%の削減効果が示されたが、畑地（野菜）においては、ほとんど効果が認められなかった。ただし、これらの結果は、様々な地目・作目の平均

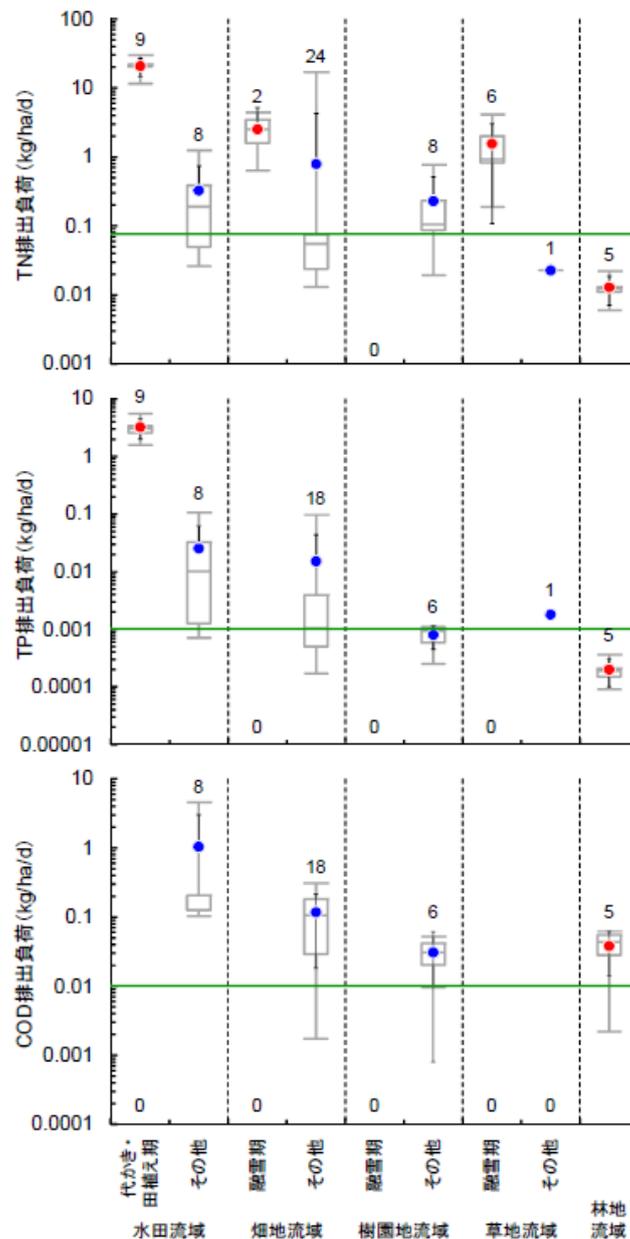
値の比較のみに基づくものであり、大まかな傾向を示しているに過ぎない。削減効果の直接比較や一般化のためには、類似した条件下での文献データをさらに多数収集する必要があるだろう。



図(1)-8 慣行及び改善農法での畑地、樹園地、草地で及びハス田からのTN、TP及びCODの排出量。灰色線のボックスプロットは最小値・第2四分位・中央値・第3四分位・最大値、丸プロットは算術平均値（エラーバーは標準偏差）、緑の水平線は削減計画原単位、各数値はデータ数を示す。

### c. 複合流域の排出負荷量

地目・作目の異なる農地や他の土地利用から成る複合流域は、農地面積に占める割合の高い地目が何であるかによって、水田流域、畑地流域、樹園地流域、草地流域、そして、これらの農地流域との比較対象として観測された林地流域の5種類に区分した。排出負荷量のデータは、これらの流域別及び観測時期別（代かき・田植え期のみ、融雪期のみ、その他）に整理して解析を行った（図(1)-9）。



図(1)-9 異なる農地(地目)を主体とする複合流域の観測時期別のTN TP及びCODの排出負荷量。凡例は図(1)-8と同じ。

水田流域では、代かき・田植え期に、極めて高い窒素及びリンの排出負荷量が多数報告されていた(算術平均値:それぞれ、21及び3.2 kg/ha/d)。これらの値は、他の時期に観測された値に比べて2オーダーも大きいことから、代かき・田植え期における水田からの排出負荷量の削減が、流域スケールでの排出負荷量削減のために最も効果的と考えられる。一方、畑地流域及び草地流域では、融雪期に窒素の排出負荷量が増大し(算術平均値:それぞれ、2.5及び1.6 kg/ha/d)、それぞれ、他の時期の観測値の3及び70倍に達した。これらの流域では、融雪期の農地の土壌侵食防止などが、流域からの排出負荷量削減のために効果的と考えられる。

その他の時期に観測された排出負荷量を各流域間で比較すると、窒素は畑地流域で最も高く、リンとCODは水田流域で最も高かった。特に水田流域のCOD排出負荷量（1.0 kg/ha/d）は、他の流域に比べて、1～2オーダーも高い値を示した。

なお、差し引き負荷量については、水田流域の代かき・田植え期のみでの観測データでは、窒素が $0.21 \pm 7.10$  kg/ha/d ( $n = 13$ )、リンが $0.48 \pm 1.3$  kg/ha/d ( $n = 13$ )であり、それ以外の観測期間のデータでは、それぞれ、 $0.13$  kg/ha/d ( $n = 1$ )及び $0.0016$  kg/ha/d ( $n = 1$ )であった。これらの値は、図(1)-9に示す水田流域からの排出負荷量に比べて、それぞれ、1及び2オーダーほど小さい。このことは、用水からの流入負荷量が非常に多いことを示している。しかし、図(1)-9の結果を見る限り、各流域内での窒素及びリンの主な排出源は水田以外に考えにくい。特にリンについては、差し引き負荷量を求めてもなお、他の流域の排出負荷量よりも1オーダー以上大きい。したがって、水田からのリン流出を抑えることが、流域全体のリン排出負荷量の削減に最も効果的と考えられる。このほか、樹園地流域においても差し引き負荷量データが得られ、窒素が $0.11 \pm 0.01$  kg/ha/d ( $n = 4$ )、リンが $0.0009 \pm 0.0002$  kg/ha/d ( $n = 4$ )であった。CODについては、流域スケールでの差し引き負荷量データが得られなかった。

削減計画原単位を日単位の値に換算し、図(1)-9中に緑の水平線で示した。複合流域からの排出負荷量（算術平均値）は、そのほとんどが、削減計画原単位よりも上方に位置していた（図(1)-9）。図(1)-8のライシメーターや圃場での観測でも同様の結果が得られている。したがって、調査対象の空間的・時間的スケールに関わらず、削減計画原単位の値は大幅に上方修正すべきである。

#### d. 原単位の精緻化と実測値の重要性

農地からの面源負荷量の把握のために原単位を利用するのであれば、原単位は、地目・作目や農法（慣行、改善）などの違い、さらには、時期の違い（代かき・田植え期や融雪期など）等によって、細分化した値を設定すべきである。図(1)-8で示したように、地目・作目の違いは、窒素、リン及びCODの排出負荷量（算術平均値）を、それぞれ、27～236、0～39及び0.5～74 kg/ha/yrの範囲で大きく変化させる。また、図(1)-9のように、複合流域内の主な地目の構成や時期による違いは、窒素、リン及びCODの排出負荷量（算術平均値）を、それぞれ、0.02～21、0.0008～3.2及び0.03～1.0 kg/ha/dの範囲で大きく変化させる。このほか、地形や気象条件などを考慮することにより、原単位をより精緻化していくことが必要である。

原単位を精緻化するためには、様々な土壌・作物・気象等の条件下における実測値を網羅的に蓄積することが必要である。窒素に関する実測値が比較的豊富であるのに対して、圃場～流域スケールでのリンやCOD排出負荷量の実測値は、極めて乏しい。さらに、樹園地・草地については、慣行農法による窒素の排出負荷量の実測値があったとしても、それを改善した場合の効果を評価するための定量的データの蓄積が乏しい。また、積雪寒冷地では、圃場～流域スケールでの通年観測データが得られておらず、冬期間の測定手法の開発なども含めて、今後の進展が望まれる。

### （3）森林の原単位情報の収集とデータベース化

森林からの原単位に関する情報の整理とデータベース作成のため、国内学会誌、国際学会誌、林業試験場および森林総合研究所など研究機関の年報や研究報告等の資料を対象として、森林からの原単位や流出負荷量に関するデータを含む文献の収集を行った。収集対象とした文献は、主

に1980年以降に公表されたものとした。対象項目は窒素、リン、有機物、懸濁物質とし、窒素は全窒素、溶存態窒素、懸濁態窒素、硝酸態窒素、アンモニア態窒素等に、リンは全リン、溶存態リン、懸濁態リン、リン酸態リン等に、有機物は全有機炭素、溶存態有機炭素、COD等に区分して整理した。森林の原単位は、地理的条件、森林の状態、気象条件、流域への流入負荷量等により異なると考えられるため、それらの情報もデータベース項目とし文献から可能な限り抽出した。また、原単位の計算のもとになった水質（濃度データ）について明記されている場合はデータシートに含めた。さらに、求められた原単位は算出方法や水文水質調査の頻度、降雨時調査の有無などにより大きく変わることが知られており、求められた原単位について研究者の視点でコメントも記載した。今回抽出した原単位に関連する具体的な項目は、概要、観測地点情報（緯度経度、標高）、流域情報（流域面積、河川次数、林相、地質情報）、負荷量算出方法、観測時期、調査方法（観測頻度、採水方法、流量観測頻度・方法）、降雨時調査（対象降雨、降雨時採水方法、観測イベント数、降雨強度、先行晴天日数など）、気象情報（実測/観測値、モデル推測）、気温、流域へのインプット量（窒素、リン、COD、TOC、SS）等である。

収集した文献の数を表(1)-10に示した。データの記載があった文献の数は、学術雑誌が60報（うち、国内のもの31報、海外のもの29報）で、各都道府県の林業試験場や森林総合研究書の報告書等が6報であった。1つの文献に複数の流域の原単位情報が含まれている場合があり、これらの文献から流域別の原単位の情報を87件得ることができた。また複数の水質項目に対する原単位が求められている場合が多く、単純合計では317件（うち国内137件、海外180件）となった。水質項目毎の原単位のデータ数、最大値、最小値、中央値および平均値について、国内と海外でのデータを対象としたものを表(1)-11と表(1)-12にそれぞれ示す。窒素が154件、リンが93件、有機物（TOC、COD等）が61件、懸濁物質が9件得られた。

表(1)-10 得られた文献数（森林）

	文献数
国内	
学術雑誌	31
研究機関や林業試験場の報告書等	6
海外	
学術雑誌	29
合計	66

森林を対象とする原単位の妥当性を検討する際の最大の問題は、流出負荷量のデータが極めて少ないことである。また、“他の地域で用いられている原単位や既往研究で報告されている原単位の値を参照し、当該地域の原単位として用いる”という行為は、科学的根拠に基づくものではなく（現状における“苦肉の策”と言えるが）、この状況が30年近く続いていることも問題である。さらに、水と物質の流出現象は、個別性、非線形性、不連続性の強い現象であるため、統一された推定方法がないことも大きな問題である。

表(1)-11 国内における森林からの水質項目別の原単位データ (kg/ha/yr)

項目	データ数	最大値	最小値	平均値	中央値
TN	17	21	0.91	4.9	4.0
DN	10	17	0.90	5.2	4.4
DIN	3	20	10	14	10
NO <sub>3</sub> -N	11	17	0.25	4.1	3.4
(NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )-N	7	4.2	0.02	1.3	0.29
NH <sub>4</sub> -N	9	0.2	0.05	0.19	0.21
TP	20	0.3	0.04	0.15	0.12
DP	16	0.1	0.02	0.07	0.06
PO <sub>4</sub> -P	12	0.1	0.02	0.04	0.04
T-COD(Mn)	9	72	9.7	24	21
D-COD(Mn)	7	57	9.7	22	17
TOC	5	33	6.0	16	16
DOC	2	17	5.6	11	11
SS	9	632	6.5	133	51
降水量(mm/yr)	21	2935	1220	1800	1797

表(1)-12 海外における森林からの水質項目別の原単位 (kg/ha/yr)

項目	データ数	最大値	最小値	平均値	中央値
TN	22	3	0.29	1.4	1.2
DN	11	4	1.15	2.5	2.4
DIN	0	-	-	-	-
NO <sub>3</sub> -N	32	2	0.01	0.4	0.1
(NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )-N	0	-	-	-	-
NH <sub>4</sub> -N	32	0.3	0.00	0.06	0.03
TP	23	0.2	0.02	0.05	0.04
DP	1	0.8	0.79	0.79	0.79
PO <sub>4</sub> -P	21	0.1	0.01	0.02	0.01
T-COD(Mn)	0	-	-	-	-
D-COD(Mn)	0	-	-	-	-
TOC	21	140	9.4	63	58
DOC	17	102	6.6	28	21
SS	0	-	-	-	-
降水量(mm/yr)	34	2165	550	924	670

森林における水と物質の流出現象には、流域の外的要因（気候、気象など）と内的要因（地形、地質、土壌、植生、土地利用など）が複雑に関係している。また、森林河川の栄養塩に関する既往の研究では、栄養塩濃度や流出負荷量は平水時と出水時で大きく異なることに加え、出水イベント内での濃度変化が大きいことが報告されている。これらのことを考慮すると、流出負荷量の

推定方法は今後統一される可能性は低く、むしろ流域ごとに異なっている方が適切であろう。特に、対象とする流域に適した出水時の流出負荷量推定方法を採用することが重要であると言える。

しかし、出水時の流出負荷量の推定では、河川流量や濃度変化が大きいいため誤差を含みやすく、正確な流出負荷量を算出することは極めて困難である。つまり、流出負荷量の推定精度は、採水頻度や計算方法によって異なるため、原単位や流出負荷量を取り扱う際には精度に関する問題を考慮する必要がある。したがって、既存の原単位情報を用いたり、流出負荷量を調査したりする際には、その目的を明確にし、目的に見合う精度を事前に設定しておくことが推定方法を選択する上で重要である。例えば、「流域内の森林をa%皆伐した時に生じる流出負荷量の変化を明らかにしたい。そのためには、精密さ (Precision) をb%以下、正確さ (Accuracy) を±c%以内に抑える必要がある。よって、対象とする流域では、週d回の採水と年e回の出水イベントの連続採水データをもとにL-Qモデルで流出負荷量を推定すればよい。」ということが考えられる。

このように目的に応じて精度を設定するためには、これまでに原単位や流出負荷量が用いられてきた場面を整理することが有効である。また、対象とする流域での推定方法と精度との関係が理解できる調査や情報収集が不可欠である。特に、後者は推定精度を左右する採水頻度と計算方法に関わることであり、流出負荷量の推定戦略を練るために非常に重要なことである。今後、そのような戦略を立てるためのデータ収集を行うには、平水時よりも出水時の観測に多くの力を注ぐことが不可欠である。既往の研究を踏まえると、集中的に出水時のデータを収集する1年間があれば、推定精度に与える採水頻度と計算方法の影響について検討できる可能性が高い。流出負荷量に関する観測を業務として行うことを想定した場合、初年度に集中的にデータを取得することで次年度以降の効果的な採水戦略を立てることができる。このことは、観測業務が長期に及ぶほど、集中的な初期投資の効果は高く、推定精度を維持しながら調査業務にかかるコストの削減につながると思われる。

以上より、適切な原単位や流出負荷量の把握のためには、出水時を重要視した対象とする流域ごとの調査の実施、原単位や流出負荷量の用途に見合う精度の把握、及び集中的な初期投資による効果的な採水戦略の策定が不可欠であるといえる。

#### (4) 大気降下物の原単位情報の収集とデータベース化

降雨負荷を中心とした大気降下物による沈着量についても情報収集とデータベースの作成を行った。調査対象は国内外の学術雑誌、地方環境研究所の報告書（その前身の地方衛生研究所・地方公害研究所の報告書を含む）、森林総合研究所の報告書と、これらの文献に加えて環境省、全国環境研究所協議会、東アジア酸性雨モニタリングネットワークにより公表されているデータ集である。収集したデータは国内またはアジアで調査されたもので1980年以降のものとした。対象項目は窒素、リン、有機物、SSとし、窒素は全窒素、溶存態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、有機態窒素、懸濁態窒素に、リンは全リン、溶存態リン、リン酸態リン、有機態リン、懸濁態リンに、有機物はCOD(Mn)、D-COD(Mn)、BOD、TOCにそれぞれ区分してデータシートに記入した。

収集した文献の数を表(1)-13に示した。データの記載があった文献の数は、学術雑誌が17報、地方環境研究所・地方衛生研究所・地方公害研究所の報告書が29報、森林総合研究所の報告書が1報であった。学術雑誌では大気環境学会誌が5報ともっとも多く、Biogeochemistry、用水と廃水は2報ずつ、エアロゾル研究、環境化学、環境科学会誌、水環境学会誌、土壤肥料学会誌、農業気

象、Atmospheric Environment、J. Jpn. Soc. Atmos. Environ. がそれぞれ1報ずつであった。表(1)-13には、文献から収集したデータの数も示した。また、環境省、全国環境研究所協議会、東アジア酸性雨モニタリングネットワークによるデータ集から収集したデータの数も併せて示した。収集したデータのうち、サンプルの採取が1年程度以上継続して行われたものについて、項目別に原単位をまとめ、表(1)-14に示した。表中の硝酸態窒素にはNO<sub>x</sub>-Nのデータも一部含まれる。また、林内雨に関するデータと、値が範囲で示されているデータは除外した。

表(1)-13 収集した文献とデータの数（大気降下物）

	文献数	データ数
文献		
学術雑誌	17	121
地方環境研究所・地方衛生研究所・地方公害研究所の報告書	29	248
森林総合研究所の報告書	1	2
データ集		
環境省酸性雨調査		11586
全国第一次酸性雨調査・全国第二次酸性雨調査 ・全国第三次酸性雨調査		8185
東アジア酸性雨データ報告集 2009		460
合計	47	20602

表(1)-14 大気降下物の水質項目別原単位（kg/ha/yr）

項目	データ数	最大値	最小値	平均値	中央値
TN	48	30.2	1.49	9.63	8.62
DN	28	17.0	6.7	11.4	11.5
NO <sub>3</sub> -N	1411	21.6	0.10	3.0	2.4
NH <sub>4</sub> -N	1410	32.9	0.11	4.2	2.9
TON	1	1.8	1.8	1.8	1.8
PN	24	0.88	0.14	0.42	0.37
TP	41	1.1	0.03	0.19	0.10
DP	28	0.58	0.04	0.15	0.11
PO <sub>4</sub> -P	27	0.48	0.02	0.11	0.08
TOP	1	0.15	0.15	0.15	0.15
PP	24	0.19	0.03	0.10	0.09
COD(Mn)	28	65	8.2	29	27
D-COD(Mn)	11	28	12	21	22
TOC	1	34	34	34	34
BOD	1	43.8	43.8	43.8	43.8
SS	1	269	269	269	269

## (5) 非特定汚染源の原単位とその推計手法の現状と課題

非特定汚染における原単位の考え方を整理し、これまでの原単位の算定手法や水域管理における原単位法の適用の現状と課題、さらに非特定汚染源制御に関する現実的な方法論について検討した結果を以下に示す。

### 1) 原単位の定義と歴史

#### a. 書籍に見る原単位の定義と適用

原単位の原義とその使用法を検討するため、(1)辞書(国語)、(2)百科事典、(3)専門辞書、(4)環境関連専門教科書、(5)専門書、それぞれについて、その定義、使用範囲を検討した。

#### i. 辞書類における定義

まず、種々の国語辞典および百科事典(一般の百科事典であり、専門分野のものは除く)で、「原単位」が見出し語として載っているかどうかを調査した。辞書では6出版社15辞書延べ19版について、百科事典では、3出版社7事典で調査を実施した。結果として、辞書では大型の辞典である「広辞苑」、「日本語大辞典」、「大辞林」の3種類のみ、百科事典では平凡社が出版する「国民百科事典」、「世界大百科事典」、「大百科事典」の3種のみで見出された。これらで記載されていた内容を、表(1)-15(辞書)、表(1)-16(百科事典)に示す。

表(1)-15 辞書にみる原単位の説明

出版社:辞書名	「原単位」説明	引用版名(年)
岩波書店: 広辞苑	鉱工業製品の一定量を生産するのに必要な原料、動力、労働力などの基準量。	第二版(1976) 第四版(1991) 第六版(2008)
小学館: 日本語大辞典	製品一単位当たりによする原材料、労働、経費などの各生産要素の標準投入量。製鉄での銑鉄1トンあたりのコークス使用量、紡績での綿糸一梱に要する綿花消費量など。	初版(1974) 第2版(2001) 精選版(2006)
三省堂: 大辞林	製品の一定量を生産するのに必要な各生産要素(原料・動力・労働力など)の量。	第三版(2006)

次に、「原単位」を説明あるいは記載する辞書・要覧類で、どのように定義・説明されていたかを検討する。表(1)-17にそれをまとめるが、「原単位」の記述があった書籍のうち定義が載っているものは約半数であった。なお表(1)-17には原単位複合語(例:発生原単位、原単位法)も説明文を提示した(見出し語を明示)。

以上、辞書類・百科事典類・要覧類の記述内容から包括的に原単位の定義をまとめると、「製品一単位量を生産するのに必要な各生産要素(原料・動力・労働力など)の量」がもっとも広く使われるが、その他に計画対象の需要予測や規模決定の際に用いられる出力量(生産量ほか)Aとその影響因子量(面積、体積、重量、金額、人等)Bとの間で比例関係が成立する場合、1)B自身の指標のこと、2)Aの単位出力量を得るために必要なB量(=B/A)、3)Bの単位量あたりに出力されるAの量(=A/B)のいずれかと広く定義できる。汚濁流出負荷の場合は、3)の意味で用いられるが、

しばしば、1)の形で用いられる。たとえば、“流出負荷量を推定する場合、非点源汚染の場合は面積を原単位に用いるが、点源の場合は、工場出荷額等さまざまな指標値が原単位として用いられる”などは普通の使い方といえる。なお、需要予測や汚濁負荷算定の場合に、Bの意味（1)に当たる）およびBの値の意味で、これらをフレーム（計画規模の意味）と称する。

表(1)-16 百科事典にみる原単位の説明

出版社: 事典名	「原単位」説明	引用版 (年)
平凡社: 国民 百科 事典	製品を1単位生産するために必要とされた投入物の数量で、各投入要素の生産性の逆数である。ふつうは原料の原単位と労働時間の原単位が用いられる。原料原単位はその製品を一つ生産するのにどれだけの原料を必要としたかを示す。たとえばアルミニウムの精錬工業のような電気化学工業では電力が重要な投入要素であるか、アルミニウム1トン当りに必要な電力(電力原単位)をいかに小さくするかが技術陣の大きな目標となっている。他方、労働という投入要素について計算されるのが労働原単位である。労働1単位当たりの生産量を労働生産性というが、労働原単位はこれの逆数だといえる。しかし、労働原単位は労働生産性の場合に一般に用いられているような労働人数ではなく、人数×平均稼働時間で、マンアワー(人時)の単位で表現する。そのためにこのような労働原単位を特別に工数原単位と呼んでいる。原単位は日本では第2次世界大戦中に提唱され、最近では各産業や製品の生産に必要な投入物量を推定したり、また技術の変化や進歩の状況を判断したりするのに用いられるが、工場では原価の計算や管理の物理的基盤として活用される。	初版 (1977)
平凡社: 世界 大百科 事典	製品1単位の生産に標準的に必要な投入物の数量をいい、 <b>原単位</b> を一定の尺度で数量計算することを <b>原単位計算</b> という。たとえば、粗鋼1tの製造に必要なとされる鉄鉱石・コークス・重油等の数量や労働時間などが、各投入物についての原単位である。原単位は原価計算における標準原価の算定基盤として重要な概念であるが、そのほかにも、相異なる技術の水準を相互に比較するための基準として利用される。たとえば、日本の製鉄技術の優秀性は、コークス原単位(コークス比(kg/t)=コークス÷鉄鉄)の他国に比べての低水準として現れる。原単位は個別企業ないし産業レベルの概念であるが、投入産出分析に現れる投入係数は、マクロ・レベルの分析における原単位の対応物である。*	改訂 新版 (2007)

\* 大百科事典(1984、平凡社)も同じ説明

## ii. 環境工学系専門教科書における汚濁流出に関わる原単位の出現

一般的な辞書や事典類では、汚濁流出で用いている原単位はほとんど説明されていないが、その研究の中心的分野である環境工学では、どのように記載されているのかを検討してみた。このため、環境工学・衛生工学・環境学関係の専門教科書類を調査し、その索引あるいは目次をもとに、原単位の有無を調べた。43書籍を調査することができ、うち10書籍で原単位の記述を見出した。調査した書籍では、「環境工学」、「衛生工学」、「環境衛生工学」、「環境学」を題名中にもつものがそれぞれ、10(4)、6(4)、2(2)、4(3)種（括弧内は、完全に一致するもの（副題を除く））と合計22書籍とあり、それぞれで3/10、2/6、2/2、0/4が原単位を含んでいた。環境学関係では、原単位を見出すことが出来なかったが、これは扱う範囲が広いため、その説明を省いている可能性がある。

10書籍が原単位を含みうち7書籍が、汚濁流出分野で原単位を記述しており、環境工学関係では原単位が、水需要の分野とともに汚濁流出の分野で一般的に使われていることを明らかにした。つづいて多数の専門書から原単位数値出現箇所を考察し、水質的には、全窒素、全リン、COD、BOD、SSが中心で、点源の生活系、工場廃水、畜産・水産系の3点源、および面源について、さまざまな発生・排出別（生活系、畜産・水産系）、排出経路（面源）別に原単位数値の研究がされていることが示された。

表(1)-17 専門辞書類にみる原単位の説明

No)出版社: 辞書名	説明(特に「〇〇:」がなければ原単位の説明)
1)日本水道協会:水道用語辞典	一定量を生産、または消費するのに必要な説明変数に対する基準量で、水道水の場合、給水量原単位、用途別使用水量原単位など各種の原単位がある。その単位は説明変数によりL/人/日、m <sup>3</sup> /日、m <sup>3</sup> /時、L/m <sup>2</sup> /日、m <sup>3</sup> /億円/年などで表される。
2)技報堂出版:土木用語大辞典	計画対象の需要予測や規模決定の際に用いられる面積、体積、重量、金額、人等の基本となる単位のこと、あるいは、その基本単位当りの量のこと。Bの単位量当たりのAの量が比較的安定している場合、A/Bとして算出される。Bが面積を表す場合には面積原単位、人口を表すときには人口原単位と呼ばれる。これらは主に状況調査をもとに将来の目標値として設定される。 (1)水資源においては、水使用量等の数量を人口、床面積、あるいは従業者数等の単位当たりの量として表示される。たとえば(L/人/日)、(L/m <sup>2</sup> /日)等の単位で示される。水使用量の将来予測の際に、原単位の推計値に人口や床面積などを乗じて将来水需要量を求めたりする。また、下水道における水質の推定に用いる汚濁原単位等もある。 (2)都市計画や交通計画においては、人口指標、経済指標、交通指標等を表すのに用いられる。例えば、人口密度(人/km <sup>2</sup> )、従業者1人当りの生産高や販売額(円/人)、1人1日当りの生成交通量(トリップ/人)、単位面積当りの発生・集中交通量(トリップ/km <sup>2</sup> )等が用いられる
3)オーム社:日中英廃棄物用語辞典	設定単位当たりの排出量や生産量を原料などの使用量で割った値。すなわち、原料の使用量や生産量、生産額等単位当たりの排出量や生成量をいう。たとえば、工場などで製品の生産に使用されるエネルギー量を生産量で割ったものはエネルギー原単位と呼ばれる。原単位の推移で効率などの状況を把握できる。
4)岩波書店:建築学用語辞典	建築施工において、延床面積1m <sup>2</sup> 当りに必要な資材や労務の数量
5)技報堂:建築用語辞典	産出物1単位当たりについての材料・労働・経費などの各要素の標準投入量。歩掛りも原単位の1種である。
6)技術書院:交通工学用語辞典	<b>発生原単位</b> :トリップの発生源であるゾーンや施設に着目して、例えば居住人口1人当たり、従業者1人当たり、床面積1m <sup>2</sup> 当たり、敷地面積1km <sup>2</sup> 当たりといった単位で算出されるトリップ数。 <b>原単位法</b> :発生原単位に将来の土地面積、床面積あるいは人口を乗ずることによって、ゾーンや施設における発生トリップ数を推計する方法
7)朝倉書店:土木工学事典	(発生交通量) <b>原単位法</b> :上記のような種類別の人口または面積当たりの発生量を既存の資料より定める。これにゾーン別の将来人口、面積を乗じて将来の発生量を推計する。 <b>原単位</b> についてはその安定性が重要である。 (クロスセクションデータを用いる予測法) <b>原単位法</b> :需要量Yとその要因Xとの間の関係を次式で表し、 $Y=aX$ ; Xの将来値に対する、将来需要Yを求めようとする方法で、aを <b>原単位</b> とよぶ。予測精度はYに対するXの説明力とaの地域的、時間的な安定性によって大きく左右される
8)日本規格協会:JIS用語辞典基本・一般編	製品1単位当たりに使用される原料・部品・副資材・工数などの消費量。例えば、銑鉄1tを生産するために消費される銑鉄原単位はコークス400kg、鉄鉱石1500kg、石灰石20kgなどと表す。
9)丸善:化学工学辞典	製造やサービスの提供において製品1単位を生産、加工するのに必要な原材料、労働量、電力、蒸気などの財貨または用役などの原価要素の消費量。kg, m <sup>3</sup> , 人日, kWhなどの単位で計測し、原単位分析の基礎とする。各原単位および生産量から所要量を出し、それぞれの単価を乗ずれば製造原価の推定計算を行うことができる。
10)コロナ社:機械用語辞典	製品1単位当たりに使用される原材料、副資材、工数あるいは経費などの消費量または金額をいう。

### iii. 学術文献にみる原単位使用実態の検討

次に、データベースJDreamIIを用いて約2千5百万件の文献から「原単位」、「水質」、「負荷量」をキーワードに検索し、411件を抽出した。検索用語の属性(発表年、雑誌、著者等)とその

関連情報（シソーラス用語、要旨、英訳）からその特性を解析した。

該当文献の特性として、文献は‘1980年～1988年’と‘1996年～’にやや集中していた。各年の文献数は後者の方が多いが、比率的には小さかった。雑誌では、「用水と廃水」と「水環境学会誌」、学会講演要旨集では「水環境学会年会」と「土木学会年次講演会」に多かった。

時代的には1980～1990年までが特に多く、その研究を行う機関としては山口大学工学部など比較的少数のグループが大半の研究発表をしていることを示した。さらに、原単位の用いられ方を題目・抄録から解析し、原単位単独の用語としても現れるが、多くは接頭語・接尾語を伴う形で現れることを示した。とくに頻発して現れる語は、原単位法、汚濁負荷原単位、負荷限単位などであった。

最後に、原単位の英訳を調査したが、流出の分野に限っても、原単位の英訳は多様に渡り、原単位で19種類、原単位法で4種類となっている。その中では、load factorとper capita loadingとがともに5文献で最高で、他は1～3文献での使用となっている。原単位法は、4文献とも違う表現となっている。このように、流出の分野でも確立した原単位の英訳はないことがわかる。なお、多くの使われる用語は、load(ing)、unit、per capita、specificの4単語でそれぞれ25文献12訳、17文献15訳、7文献4訳、6文献2訳で使われている。unitは単位の直訳で残っている場合が多く、むしろ流出現象での原単位量を示す意味でloadが必要と思われる。また、per-capitaは、フレームが人である場合は成立するが、面源汚染のような場合は成立しないので、specificの方がより汎用性が高いと思われる。以上を踏まえると、specific (\*\*\*\*) loadingが原単位の英訳としては、汎用性と正確性があると考え、提案する（\*\*\*\*はその原単位の意味を明確化するための単語群）。なお、本表の連語についてもShorter Oxford English Dictionaryでチェックしたが、“load factor”と“unit load”の項目以外は見出すことが出来なかった。

以上のことから、原単位の用いる分野でその訳が異なること、汚濁流出の分野に限っても、その訳語は固定していないことが示され、原単位内容からもっとも適切な英訳としては、specific (\*\*\*\*) load が汎用性と正確性があると考えられた。

## 2) 実測値からの原単位の算出根拠および算出方法

### a. 水質総量削減計画における原単位の算出根拠

#### i. 水質総量削減の沿革

水質総量削減制度は昭和53年の水質汚濁防止法、および、瀬戸内海環境保全特別措置法の改正により導入された制度である。環境大臣が指定水域ごとに発生源別の及び都府県別の削減目標量、目標年度などの総量削減基本方針を定め、関係都府県知事が削減目標量を達成するための総量削減計画を定めるとされている。指定水域は、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の3海域、指定地域は20都府県の集水域である。第1次から第4次までの総量削減はCODを指定項目として実施され、第5次からは窒素およびりんが指定項目に加えられた（表(1)-18）。平成23年6月に第7次総量削減基本方針が策定され、平成26年度を目標年度として削減目標量が定められている。今後、関係都府県において削減目標の達成に向けた総量削減計画の策定および総量規制基準の設定が行われる。

表(1)-18 水質総量削減制度の沿革

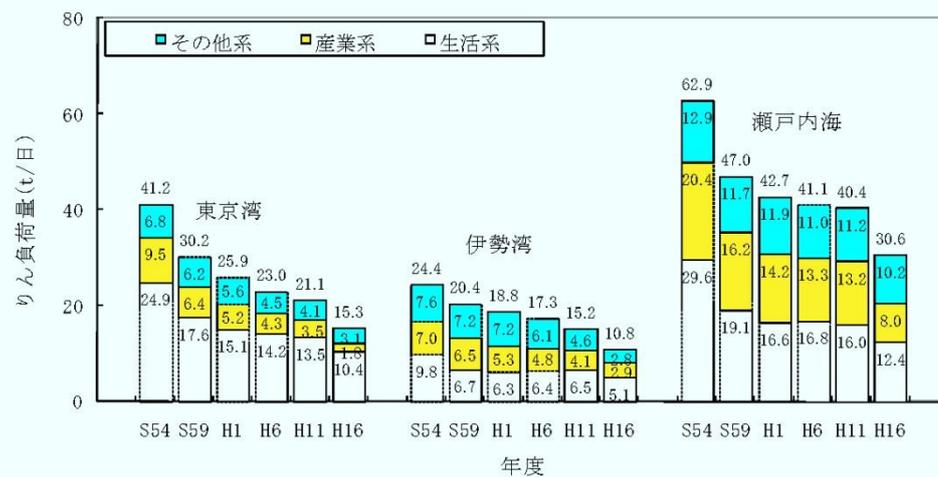
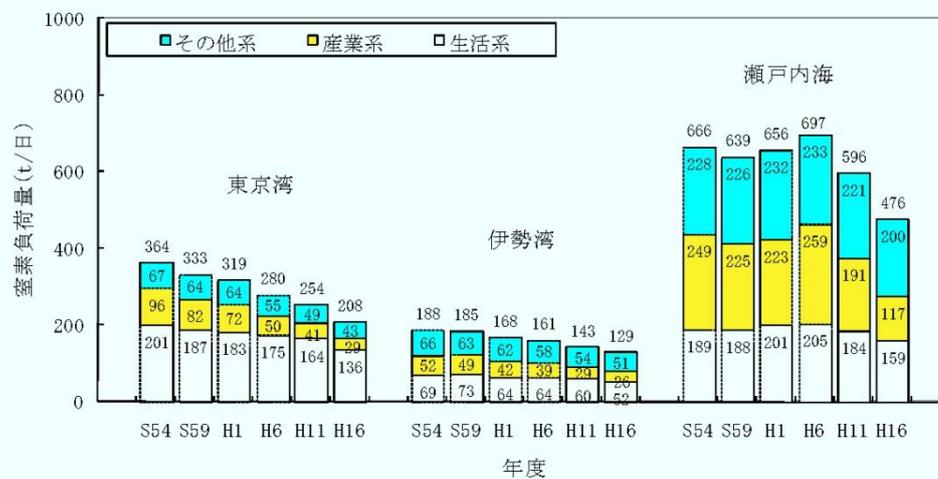
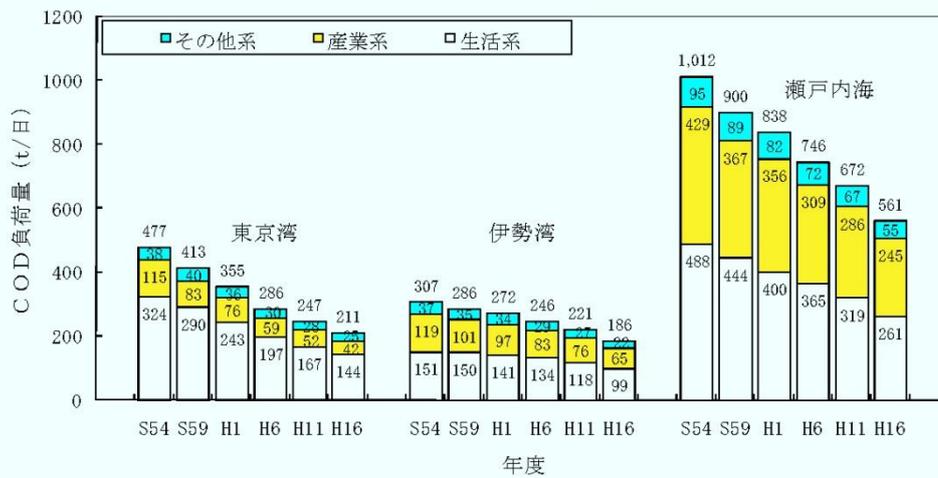
	基本方針策定	目標年度	指定項目
第1次	昭和54年6月	昭和59年度	COD
第2次	昭和62年1月	平成元年度	COD
第3次	平成3年1月	平成6年度	COD
第4次	平成8年4月	平成11年度	COD
第5次	平成13年12月	平成16年度	COD、窒素、りん
第6次	平成18年11月	平成21年度	COD、窒素、りん

総量削減制度においては、非特定汚染源からの負荷量は「その他系」負荷量に含まれ、一括して示されることが多い。総量削減基本方針においても削減目標はその他系として一括して示される。「その他系」負荷量には、非特定汚染源からの負荷である「土地系」に加え、「畜産系」や「下水道（その他）」、「廃棄物最終処分地」からの負荷量が含まれている。「土地系」には、さらにその内訳として、「山林」、「水田」、「畑・果樹園」、「その他の土地」における発生負荷が含まれるとされている。総量削減制度のもとで関係都府県によって推計された発生源別汚濁負荷量を図(1)-10に、また、東京湾における発生源別のCOD負荷量の推移を表(1)-19に示す<sup>1)</sup>。特定汚染源からの負荷が削減されるとともに相対的にその他系負荷が占める割合が多くなってきているが、土地系からの負荷が占める割合は非常に小さいとされていることがわかる。

表(1)-19 海域別・発生源別のCOD負荷量の推移（東京湾）<sup>1)</sup>

系	発生源	負荷量 (t/日)						負荷量比率 (%)						
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	S54	S59	H1	H6	H11	H16	
生活系	下水道（生活系）	48.2	56.3	66.1	80.0	82.5	78.0	10.1	13.6	18.6	28.0	33.4	36.9	
	合併処理浄化槽	11.0	12.2	10.4	8.9	9.9	10.1	2.3	3.0	2.9	3.1	4.0	4.8	
	単独処理浄化槽	28.2	28.0	19.9	13.9	10.4	8.1	5.9	6.8	5.6	4.9	4.2	3.9	
	し尿処理場	6.8	3.4	1.8	1.0	0.5	0.2	1.4	0.8	0.5	0.4	0.2	0.1	
	雑排水	228.6	189.7	143.8	94.1	64.3	47.1	47.9	46.0	40.5	32.9	26.0	22.3	
	小計	324	290	243	197	167	144	69	70	69	68	67	68	
産業系	産業系指定地域内事業場	60.6	35.3	28.2	20.7	17.7	14.5	12.7	8.6	8.0	7.2	7.2	6.9	
	下水道（産業系）	8.2	8.0	10.5	8.2	8.7	8.5	1.7	1.9	3.0	2.9	3.5	4.0	
	小規模	10.7	11.9	11.2	9.8	9.1	8.1	2.2	2.9	3.1	3.4	3.7	3.9	
	未規制	36.1	28.3	26.0	20.0	16.1	11.2	7.6	6.9	7.3	7.0	6.5	5.3	
	小計	115	83	76	59	52	42	23	19	21	21	21	20	
その他系	畜産系	12.9	10.4	7.5	6.2	5.3	3.1	2.7	2.5	2.1	2.2	2.1	1.5	
	その他	17.5	21.8	21.2	16.6	15.4	14.5	3.7	5.3	6.0	5.8	6.3	6.9	
	土地系	土地系	山林	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
			水田	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
			畑・果樹園						0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
			その他の土地	4.5	5.0	5.1	5.3	5.4	4.8	0.9	1.2	1.4	1.8	2.2
	廃棄物最終処分地	1.5	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	
	小計	25.4	28.9	28.2	23.5	22.4	21.6	5.3	7.0	8.0	8.2	9.1	10.2	
	小計	38	39	36	30	28	25	8	11	10	10	11	12	
	合計	477	412	355	286	247	211	100	100	100	100	100	100	

(出典)発生負荷量管理等調査（環境省）



出典)発生負荷量管理等調査(環境省)及び関係都府県による推計結果

備考)点線の棒グラフは、関係都府県による推計値。

図(1)-10 指定地域における汚濁負荷量の推移<sup>1)</sup>

## ii. 第6次総量削減計画における非特定汚染源原単位

第6次総量削減計画（目標年度：平成21年度）において使用されている非特定汚染源の原単位が、流域別下水道整備総合計画指針と解説（平成20年度版 日本下水道協会）にまとめられている。それによると指定地域（20都府県）のうち、他と異なる原単位を使用しているのは愛知県と大阪府のみで、その他18都府県は共通の原単位を用いていることがわかる。ここでは共通の原単位の値のみを取り出し、その値を示す。

山林については、以下の値が用いられている。

原単位COD:0.91 kg/ha・年 TN:6.9 kg/ha・年 TP:0.18 kg/ha・年

水田については、以下の値が用いられている。

原単位COD:6.4 kg/ha・年 TN:28kg/ha・年 TP:0.37 kg/ha・年

畑地については、以下の値が用いられている。

原単位COD:3.7 kg/ha・年 TN: 28 kg/ha・年 TP: 0.37kg/ha・年

市街地・その他については、以下の値が用いられている。

原単位COD: 3.7 kg/ha・年 TN:6.9 kg/ha・年 TP:0.18 kg/ha・年

CODについては、畑地と市街地・その他において同じ値を示している。TN、TPについては、山林と市街地・その他が同じ値であり、水田と畑についても両者で同じ値が用いられている。以下に、CODとTN、TPにわけて、指定地域共通の原単位についてその算定根拠を調査した結果の要約を示す。

ア. COD

CODの原単位の算出根拠は以下の通りであった。

- [1] 山林は、國松による滋賀県愛知川・安曇川の調査結果（1977年10月調査）に基づき、比流出負荷量の平均値2.5 g/ha/日、を求め、これを年換算したものを根拠としていた。
- [2] 水田は、農水省公害環境保全対策室の資料<sup>2)</sup>によれば、茨城県馬掛の反復利水を行っている水田団地（35ha）における1976年の調査から求めた差し引き負荷量6.4 kg/ha/年を根拠としている。文献調査の結果、負荷量調査は田渕らが4月-12月に行ったものと推測された。
- [3] 畑地・果樹園、市街地・その他については、環境庁の資料<sup>3)</sup>によると、流域別下水道整備総合計画に定められている自然汚濁負荷量（0.5-1.0 kg/km<sup>2</sup>/日）のうち、安全側を見込み1.0 kg/km<sup>2</sup>/日を採用したとある。この値の根拠は、洞沢<sup>4)</sup>による山形県内の河川上流部の調査、霞ヶ浦工事事務所<sup>5)</sup>による筑波山塊付近の6流域の調査結果であるBOD負荷量の平均値0.842 kg/km<sup>2</sup>/日に基づいていることが判明した。
- [4] 指定地域（20都府県）のうち、18都府県は同じ原単位を使用しており、他と異なる原単位を用いているのは愛知県と大阪府のみであった。また、「畑地」と「市街地・その他」のCODの原単位は同じ値が用いられていることが明らかとなった。

### イ. TNおよびTP

TNとTPにおいて、「山林」と「市街地・その他」が同じ値であり、「水田」と「畑地」についても同じ原単位が用いられていた。この他、総量削減計画、湖沼水質保全計画の中で採用されている面源原単位、原単位の算出方法の研究事例から調査方法と算出期間の影響、等を中心に整理した。

- [1] 山林およびその他・市街地の原単位は、環境庁（1986）事務連絡参考資料において、「根拠

は流域計画指針（1974）」とあった。『流域別下水道整備総合計画調査指針と解説』では、この値の出典は「琵琶湖の将来水質に関する調査報告書 昭和45年度」<sup>6)</sup>としている。この報告書によると、「愛知川上流部にて1970年7月27日と同年9月3日に計4回の実測をし、その平均負荷量より流域からの人工負荷流出量（計算値）を引いた値を山林の原単位とした」とあった。

[2] 水田および畑地・果樹園については、同様に、環境庁（1986）の事務連絡資料から、根拠は流域計画指針（1974）であることがわかった。しかし、『流域別下水道整備総合計画調査指針と解説』にはこの値の出典が示されていないため、これ以上遡ることができなかった。

このように、根拠不明、または1970年代の調査を根拠としており、地点も期間も非常に限定された調査に基づいている。畑地・果樹園、市街地に至っては調査すらされていないことが明らかになった。

#### b. 原単位の算出方法に関する研究事例

環境省の「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン」には非特定汚染源負荷の調査に係る基本的な考え方が、調査対象地域、調査項目、調査期間・頻度、調査手法について詳しく整理されている。非特定汚染源の特徴である非均質性を十分に考慮し、事前に当該流域の情報を十分に把握した上で、集水域を代表すると考えられる流域を選定するとともに、特定汚染源および他の非特定汚染源を多く含まない流域を選定することとしている。調査項目としては、必ず調査すべき必須項目としてCOD（化学的酸素要求量）、TN（全窒素）、TP（全リン）を、できるかぎり調査すべき標準項目としてSS（浮遊物質）、DCOD（溶存性化学的酸素要求量）、TOC（全有機炭素）、DOC（溶存性有機炭素）、DTN（溶存性窒素）、DTP（溶存性リン）を、調査しておくことが望ましい補助項目としてBOD（生物化学的酸素要求量）、NO<sub>2</sub>-N（亜硝酸性窒素）、NO<sub>3</sub>-N（硝酸性窒素）、NH<sub>4</sub>-N（アンモニア性窒素）、PO<sub>4</sub>-P（リン酸性リン）を指定している。

調査対象地域と調査項目のみならず、調査期間・時期・頻度および流量観測・水質調査・年間負荷量の計算方法も具体的に述べている。調査期間は気象、水文、生物などのサイクルを考慮して1年間を基本とし、非特定汚染源の負荷量はその年の気象条件などにより大きく変動することから、3年以上の継続調査を実施することが望ましく、継続した調査が困難な場合には必要に応じて細かい調査が望ましいと述べている。調査頻度については、非特定汚染源負荷が降雨などの影響や各種環境条件の影響を大きく受けることを踏まえ、流量は連続観測、水質は週1回～月1回程度の定期調査および降雨時に5回程度の詳細調査、その他負荷流出に影響を与える各種イベント（代かき田植え、施肥、融雪など）を考慮した調査を実施することで、様々な環境変動に対応した幅広いデータを取得することを勧めている。また、水文調査に関しては量水堰（三角堰）と自記水位計による連続観測や量水堰の設置が困難な場所では自記水位計と実測流量の関係から水位流量（H-Q）式から連続観測データを得ることを勧めている。水質調査は（1）定期調査、（2）降雨時詳細調査、（3）イベント時詳細調査を実施することを示している。そのうち、定期調査は週1回～月1回程度とし晴天時・降雨時にかかわらず行うこととし、降雨時詳細調査は降水量10～20mm程度以上の雨に対して初期は30～60分間隔で、ピーク流量直後は1～数時間間隔で調査を行うこととし、イベント時詳細調査は短期間に流量・水質に著しい時間変動があると考えられる場合必要に応じて調査を行うこととしている。このような調査結果を基に、水質データに対応する流量デー

タを乗じて負荷量を求め、負荷量－流量式（L-Q式）を用いて年間排出負荷量を計算する方法が示されている。

このように、非特定汚染源負荷調査のガイドラインが具体的に提示されているものの、原単位に関する既存の調査事例では、調査期間や調査頻度、負荷量の推定時に考慮した物質収支項目、イベントの考慮有無がそれぞれ異なっている。現場調査を行う際には状況に応じて最善を尽くして行っていると思われるが、異なる調査方法から得られた原単位を利用する際には、選定基準が不明確である。そこで、非特定汚染源負荷推定における調査頻度、算出方法および算出期間、考慮すべき物質収支、イベント時変動が原単位算出に与える影響について論じた研究事例を調べた。

### i. 調査方法（調査頻度）の影響

調査方法の影響のうち、調査頻度については次のとおりである。図(1)-11に示した $\text{NO}_3\text{-N}$ を見ると、山林地区では $L_{q1}$ （直線型）と $L_{q2}$ （曲線型）とともに $T=120$ （30日）でも5%で小さく、 $L_w$ （流量考慮）は10%以下、 $L_a$ （単純平均）は20%をオーバーしていることが分かった。農業地区では $L_{q1}$ と $L_{q2}$ とともに $T=24$ （6日）以下では10%以内に収まっているが、 $T=120$ （30日）では18%以上であることを示した。養豚地区では $L_{q1}$ と $L_{q2}$ との間に違いが生じ、直線型では $T=40$ （10日）で平方誤差率10%をこえて、曲線型では $T=60$ （15日）で10%になることが分かり、また、L-Q法による算出値の平方誤差率をもっとも小さく、L-Q法が単純平均法に比べて優れていることを明らかにしている。

TNを見ると、山林地区では直・曲線型ともに $T=24$ （6日）で10%を超えていて、流量補正法および単純平均法の誤差率はL-Qよりもっと大きく、農業地区では $T=60$ （15日）まではL-Q法および流量補正法の平均誤差率は10%の範囲に収まり、単純平均法の値との差は大きいことを示した。SSを見ると、山林地区では $T=4$ （1日）ですべての平方誤差率の値が20%をこえて、農業地区では $T=8$ （2日）で直線型の式が辛うじて20%の範囲内にあるが他はすべて超過しているため、SSのようにL-Q法、流量補正法ともに精度のよい結果が得られない項目もあると述べている。これらの研究では、非特定汚染源負荷量の推定精度についてはデータの採取間隔、すなわち測定頻度がどの程度の推定誤差を与えることになるかを調べた研究であるが、この研究ではできる限り高頻度に採取された水質データを用いて、それを基礎とした評価を与えている点に大きな特徴がある。この場合においても、真値と見なしているデータの採取間隔が十分なのかという議論を避けることはできない。

### ii. 算出方法の影響

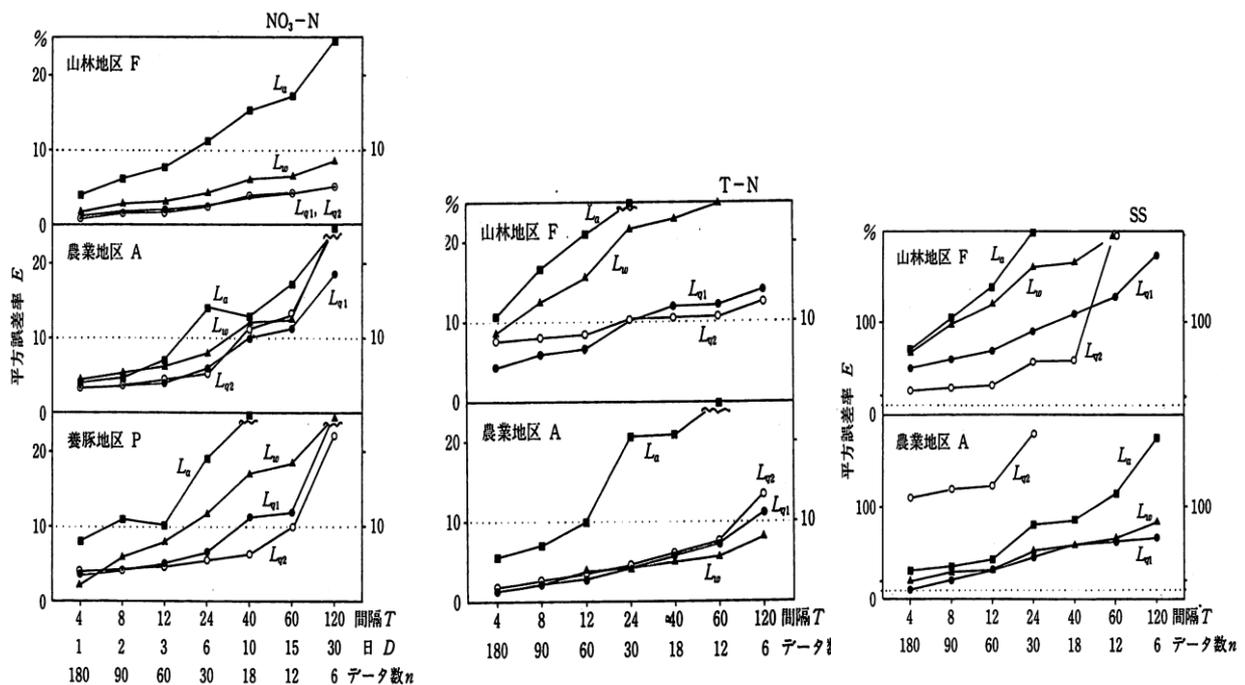
次に、算出方法の影響についてまとめた。物質総流出量を正確に把握するためには、対象となる水質項目と河川流量の実測値を連続的に、かつ高頻度で得ることが必要となる。流量の実測値については前節で述べたように計測器を用いて精度の良い連続データが得ることができるようになってきているものの、水質データに関しては流量データほど容易に取得できない状況にある。このため、限られた水質データをもとに、流域からの物質総負荷量のよりよい推定値を得ることを目的として様々な方法が提案されてきており、直線型あるいは曲線型L-Q式を用いた推定法、1出水あたりの総流出量と総流出負荷量を用いた推定法、1出水あたりの総降水量と総流出負荷量を用いた推定法が代表的である。

多田ら<sup>9)</sup>は農地に比べて流量変動が相対的に穏やかである山林流域において、15分間隔の頻度で採取された水質データを元に、非特定汚染源負荷量の推定方法とその精度について議論した。

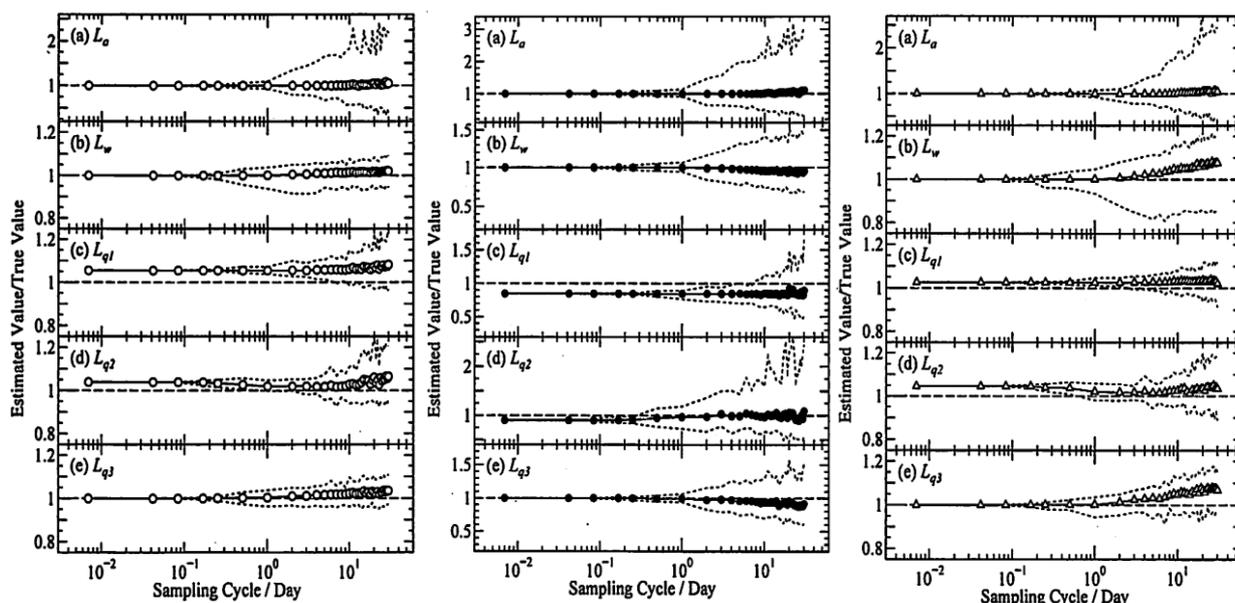
懸濁態物質ほど複雑な水質変動を示さない溶存態である $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ を対象として負荷量を算出

した。全期間を対象とした負荷量算出法は次のようである。以上の負荷量計算方法を用いて求めた負荷量推定値の真値に対する比を図(1)-12に示す。すべての項目についていえることであるが、 $Lq1$ と $Lq2$ では、パラメータの推定法に関わらず、すべてのデータを利用して計算を行っても真値を得ることができない。

長期間通じての負荷総量を精度良く推定するという目的からいえば、べき乗型のL-Q式を使わない方がよいとの結果を示している。また、 $L_a$ は抽出サンプル数の減少とともに急激に推定範囲が広がっているため、あまり良い推定法とはいえない。 $L_w$ は単純平均法よりは変動幅、平均値において改善が見られるものの、 $Na^+$ の例のようにこれも良い推定法ということはいえない。負荷量算出方法のうち、すべての水質項目で最良な推定値を与えるのは直線型の $Lq3$ であったことから、直線型のL-Q式から負荷量を求めることが望ましいとの結果を示している。95%の確率で負荷量の推定誤差を真値 $\pm 10\%$ に抑えたいのであれば、 $Cl^-$ では19日に1回、 $K^+$ では1日に1回、 $Na^+$ では6日に1回の定時サンプリングで良いとの頻度も提案している。



図(1)-11 等間隔抽出の場合の $NO_3-N$ ,  $T-N$ ,  $SS$ 負荷量の平方誤差率<sup>7)</sup>



図(1)-12 等間隔抽出における負荷量の推定結果 (左から $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ )<sup>8)</sup>  
(実線は平均値、点線は5%と95%値)

### c. 研究事例調査のまとめ

ここでは、環境省の「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン」の考え方を理解し、原単位の算出に影響を与える要因について評価した研究事例を調べた。調査方法による原単位の影響を検討するため、調査方法・調査頻度・調査時期と天候・降雨イベント数・農業イベントに着目して原単位への影響を検討した研究事例を調べるとともに、算出方法による原単位への影響を検討するため、負荷推定方法・時期や天候別の負荷・算定年数・物質収支に着目した研究事例について調べた。その結果を以下にまとめる。

- [1] L-Q式による負荷推定に調査頻度が与える影響を比較した研究では、調査頻度別の平方誤差を求め、平方誤差が10%以内に収まる調査頻度を項目別に提案したものがあつた。また、農業イベント別の流出負荷が多い時期を把握するための調査頻度を検討した研究事例もあつた。
- [2] 年間の原単位、灌漑期と非灌漑期を分けた原単位、月別に原単位や農業イベント別の原単位を出した事例があつた一方、研究事例の中には灌漑期のみ調査を行つて原単位を出したものもある。しかし、原単位の調査期間の影響について検討を行つた事例はほぼ皆無であつた。
- [3] 農業イベントのうち特定の時期に流出負荷が多いことについてはいくつかの研究により示されていたが、農業イベントの違いを原単位算出に活かすような議論を行つた事例は見当たらなかつた。
- [4] 負荷推定方法が原単位算出に及ぼす影響を調べた研究事例として、直線型L-Q式、曲線型L-Q式、単純平均法、流量加重平均法から求めた負荷量を真値と比較を行つた事例があつた。直線型のL-Q式がサンプル数に関係なく、真値と最も類似な結果を得られる推定法であると示されていた。
- [5] 非特定汚染源負荷の定義を理解したうえの調査、原単位の利用が必要である。また、負荷推定のための実測調査を行う際、インプットとアウトプット負荷を正確に把握する必要はある

ものの、原単位推定と物質収支に関して検討を行った研究事例は見当たらなかった。

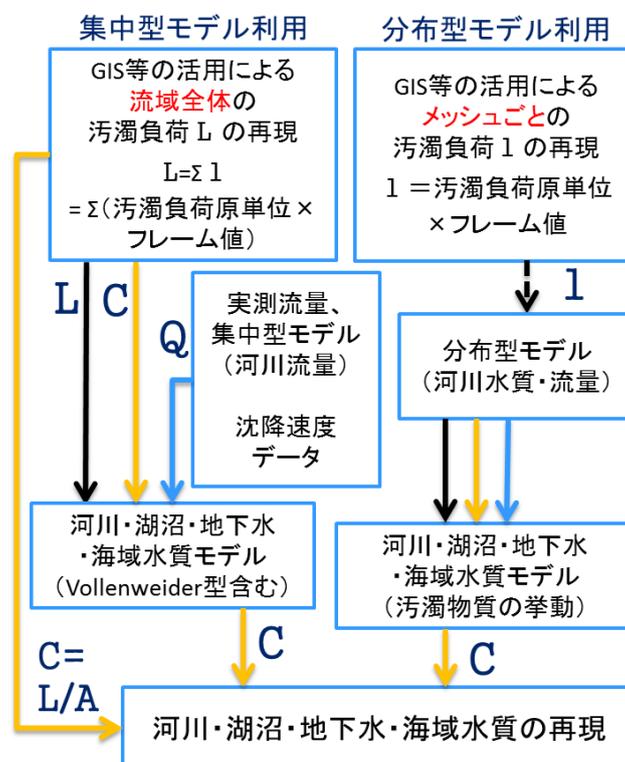
非特定汚染源負荷の原単位を提案した事例は数多くあるが、原単位の調査方法や算出方法は事例ごとに異なっていることが現状である。異なる調査方法から得られた原単位を利用する際には選定基準が必要と思われる。しかし、調査方法の相違が原単位に与える影響を検討した事例が少なく、原単位の選定基準がない状況にある。原単位の便利さを活かしつつ精度良く流域の負荷を推定するためには、算出方法が原単位に与える影響を明らかにする研究をより活発に行うべきであり、今後原単位の選定基準や弾力的な利用法についても検討する必要があると思われる。

### 3) 面源にかかる原単位の利用方法・使われ方

面源原単位が流域管理、閉鎖性水域の保全等を目的とした施策においてどのように利用されているのかを整理した。

#### a. 原単位による汚濁負荷量の推定の目的

面源にかかわる原単位の利用の最終的な目的は、受水域である湖沼や海域の水質の予測であるといえる。その過程に流域から発生する汚濁負荷量の推定がある。1970年代には受水域の汚濁負荷の流達率を求める研究が開始しており<sup>9)</sup>、流域別下水道整備総合計画の策定のために面源が意識され、人為的汚濁負荷源としての自然汚濁原単位を求める研究がなされた<sup>10)</sup>。また河川流量と汚濁負荷の関係を経験式で定式化する研究が始まった。受水域の水質の予測の方法は、発生汚濁負荷の推定、流達負荷の推定、受水域の水質予測・再現に分かれるが、集中型モデルないし分布型モデルを利用して汚濁負荷を計算し、水質計算を行って最終的に河川・湖沼・地下水・海域の水質の再現を行う（図(1)-13）。



図(1)-13 原単位による汚濁負荷量推定のフロー (C:濃度、L:負荷、A:面積)

## b. 発生汚濁負荷量の推定方法

流域からの発生汚濁負荷量の推定方法は、流域あるいは小流域を一括して扱い、ブロック割りして土地利用別に求める方法、メッシュごとの土地利用により求める方法の2通りある。前者の場合、流域あるいは小流域の土地利用区分を算定し、土地利用ごとの汚濁負荷発生原単位にフレーム値を乗じて発生汚濁負荷量を算出する<sup>11)</sup>。後者の場合、メッシュごとの土地利用のフレーム値に汚濁負荷発生原単位を乗じてメッシュごとの発生汚濁負荷量を算出する<sup>12)</sup>。近年では、流域からの発生汚濁負荷の計算に後者をGISとともに用いる手法が一般化しつつある<sup>13)</sup>。いずれの場合でも受水域への流達負荷量の算出については、年間発生汚濁負荷量と流達率、浄化残率の積をとることになる<sup>11)</sup>。数値モデルへの入力や、季節変化の再現のために時系列の汚濁負荷の出力を得ることを目的とする場合、流量・汚濁負荷量を計算するために流域ごとのタンクモデルなどの集中型モデルを用いる場合<sup>14)15)16)</sup>と、分布型のモデルを用いる場合<sup>13)17)18)19)</sup>がある。中間的なものとして、地形区分ごとに土地利用を分割した例<sup>19)</sup>がある。この場合でも、面源については流量のみを再現し、汚濁負荷量に汚濁負荷原単位を用いる場合<sup>17)</sup>と、水質・流量を同時に再現する場合<sup>21)22)</sup>とがある。面源の汚濁負荷原単位を用いることなく分布型の数値モデルによって流域のメッシュごとの汚濁物質の溶出・掃流過程を再現し、水質・流量を同時に計算するが、点源については発生汚濁負荷原単位を用いることが多い。流達負荷量の推定に関しては、水路の堆積・掃流過程を計算する。

## c. 利用事例

流域の土地利用を利用した流出負荷量の推定の例としては、有明海・八代海への流入負荷量の算定に関して、水質基準点の下流域について面源の原単位を用いて算定した例がある。ここで用いた原単位は、平成13年度と平成14年度に実施した「国土総合開発事業調整費 有明海海域環境調査」（農林水産省水産庁、農林水産省農村振興局、経済産業省資源エネルギー庁、国土交通省河川局、国土交通省港湾局、環境省環境管理局）で用いられた原単位をベースにしている<sup>23)</sup>。水質基準点より上流に関しては、L-Q式と流量を用いて年間の負荷量を再現している。したがって、湖沼や海域への汚濁負荷量を実測ベースで求める際にも、計測地点の集水域以外の流域については面源の原単位を用いて汚濁負荷流出量を推定する必要がある。また、流域別下水道整備総合計画でも面源系については原単位が用いられ、ブロックごとの流出負荷の和により算定される。この方法は許容負荷量の設定等の計算で用いられている。大阪湾流域別下水道整備総合計画の場合、面源の原単位としては、滋賀県以外は指定10湖沼平均値が採用されている<sup>24)</sup>。また、流入汚濁負荷量の経年変化の推定、大阪湾に流入する河川水の利用状況の実態(昭和62年度)の把握<sup>25)</sup>、利根川における排出汚濁負荷の経年変化の解析<sup>26)</sup>がある。

汚濁負荷流出原単位の間接的な使用方法としては、河川における窒素濃度の推定<sup>27)</sup>、畜産廃棄物の農地還元量の推定<sup>28)</sup>がある。

## d. 原単位を用いた計算の評価

二瓶ら<sup>29)</sup>は、出水時流入負荷データを用いて東京湾流域全体からの流入負荷の経年変化を解析し、TNはほぼ一致するが、降雨時流出負荷量の多いCOD、TP負荷量は原単位の計算が過小評価となったとしている。

大久保ら<sup>30)</sup>は、原単位法で求めた琵琶湖への流入負荷量と琵琶湖・流入河川水質の経年変化との対応関係を調べ、TPについては対応がみられたが、COD、TNについては対応がみられなかったことを示している。

大見謝ら<sup>31)</sup>は、沖縄県の河川について統計資料より単位面積当たりの栄養塩原単位を算出した。南部は北部と比較して窒素で2.8倍、リンでは3.0倍の値を示し、河口部における栄養塩濃度と傾向が一致したとしている。鷹野<sup>32)</sup>は岡山県、香川県の公共用水域水質データベース、及び各種調査資料等から備讃瀬戸へ流入する汚濁負荷量を推定した。原単位法とL-Q式との負荷量を比較したところ、原単位法での負荷量が40から90%大きくなった。総量削減計画値と比べると窒素が100%未満、CODとリンが100%以上になり、原単位を検討する必要が認められた。

#### e. 受水域での水質予測への利用事例

受水域の水質予測については、河川水質を予測する場合と湖沼・海域水質を予測する場合がある。松重ら<sup>33)</sup>は、霞ヶ浦流域市町村においてGISを活用した流域管理システムを構築し、排出濃度から予測される河川水質を阿見町の清明川で検証した結果、流域データおよび原単位から河川水質が予測できたとしている。

湖沼・海域水質の予測にはVollenweider型のモデルで水質予測を行ったり、数値モデルを用いて水質予測を行ったりする方法がある。福島（1986）は、全国90湖沼を対象に原単位法で推定した全窒素、全リンの流入負荷量を用いてVollenweider型のモデルにあてはめ、湖内平均水質を予測し実測値と比較した。窒素は原単位、流達率、見かけの沈降速度を適当に選ぶと9割近くの湖沼で予測値が実測値の0.5～2倍の範囲に入ることを見出した。

面源の流入負荷原単位を用いた数値モデルを用いて水質を計算した例としては、東京湾<sup>34)</sup>、大阪湾等の各種流域別下水道整備総合計画<sup>24)</sup>において計算例があるほか、有明海・八代海において計算例がある<sup>23)</sup>。しかしながら、時系列で受水域の水質を再現するためのモデルにはL-Q式等による河川からの時系列での汚濁負荷量の再現が必要となる。

#### 4) 現状の問題点と課題

非特定汚染源からの汚濁負荷原単位（単位時間・単位面積あたりに排出される汚濁負荷量）は、区間代表法、L-Q式、シミュレーションなど様々な方法により算出される。本章では、この原単位の算出方法やその利用方法等に関する問題点と課題について、以下の3つのカテゴリーから検討する。

- ① 原単位の設定根拠 (a)
- ② 原単位を用いた負荷量の計算方法 (b)
- ③ 原単位の利用方法 (c)

対象とする地域からの流出負荷量 $L$  (kg/年) を $L = \sum (U \times A \times \beta)$ （ここで、 $U$ : 汚濁負荷原単位 (kg/ha/年)、 $A$ : 土地利用面積 (ha)、 $\beta$ : 流出率 (-)）とすると、 $U$ の算出方法について検討するのが①、 $L$ の算出方法について検討するのが②、 $L$ や $U$ などの値をどのように利活用していくかについて検討するのが③である。

## a. 原単位の設定根拠

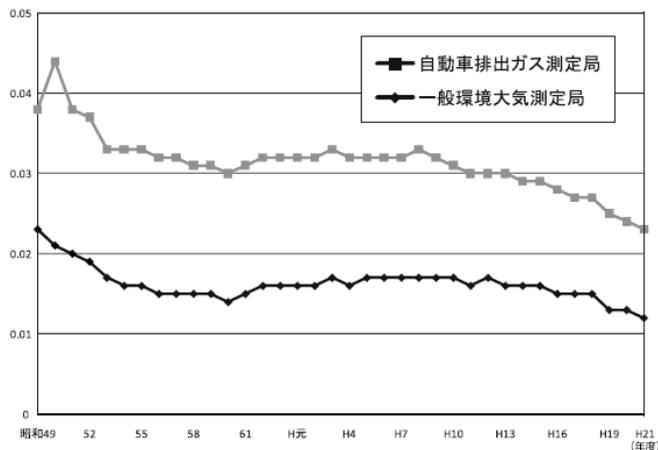
### i. 面源負荷の特徴を踏まえた設定 ～非定常性～

面源負荷は、降雨などの気象イベントや耕作スケジュールなどに大きな影響を受けるという「非定常性」と、同じ土地利用であっても地域や利用のされ方等によって大きく値が異なるという「非均質性」という特徴を有する。点源負荷であっても非定常性・非均質性といった特徴は有するが、特に前者の特徴が面源負荷で顕著であるため、その原単位を精緻に調査・算出することが容易ではない。

「非定常性」に関して言えば、限られた費用・労力・時間の中でできるだけ精度の高い原単位を算出したいというニーズが存在する一方で、どの程度の降雨イベント数、期間を調査すればよいかといったことに対する科学的な知見は限られる。例えば、「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン」（環境省水・大気環境局2009）には、「調査の期間は、（中略）原則として3年間以上の継続調査を実施することが望ましい」「流量は連続観測とし、水質は週1回～月1回程度の定期調査及び降雨時に5回程度の詳細調査」といった指針が記されている。しかし後に述べる非均質性を考慮し、例えば全国の主要な海域や湖沼流域のそれぞれで各自自治体がこれを実施するとすると、費用等の観点から難しい場合が多い。またこれらの指針も既往研究に基づく経験的なものであるため、どの程度調査すれば精度良い原単位が得られるかは地域や土地利用等により異なると考えられる。対象地域で詳細な調査が行えない場合、粗い調査結果をもって原単位を設定するか、あるいは他地域における詳細な調査結果を利用するか、それらを何らかの形で併用するかは、専門家でもかなり難しい判断になる。

多くの土地利用において面源負荷の非定常性に最も大きな影響を与えるのは、降雨イベントである。降雨時調査を実施せず区間代表法で負荷量を算出すれば、原単位は一般に過小評価になることが知られている<sup>35)36)</sup>。大久保らが滋賀県守山市の水田群を対象として、平常時1～2回/日、降雨時11イベントを対象として調査した結果からは、TN、TPともに求めた負荷量値は、現在用いられている原単位に比較して数倍から7倍程度大きな値になった<sup>35)</sup>。しかし、降雨時を除いた平水時の負荷量（基底負荷量）を見ると、TNでは現行の負荷原単位より小さくなり、TPでは同程度の値になった。このことを鑑みると、降雨時調査がなされているか否かは、面源負荷の原単位の精度を判断する上で重要なポイントであると言える。

時間スケールをより大きく捉えれば、同じ場所でも年代により原単位が変化するケースが考えられる。例えば森林では1960年代の拡大造林期と現代とで水物質循環の様相は大きく異なると考えられるし、市街地では自動車の保有台数や排出される窒素酸化物・粒子状物質の量が、水田では施肥量などが変化してきている（図(1)-14、図(1)-15）。しかし第2章で述べたように、水質総量削減計画や湖沼計画などの行政計画で用いられる面源負荷の原単位は1970～1980年代に調査されたものを現在でも活用しているケースがかなりあり、それが現状でも適切と言えるのかどうか検証することが必要である。



図(1)-14 二酸化窒素濃度の年平均値の推移  
(環境省総合環境政策局、2011)

○新潟県コシヒカリ栽培における施肥基準の変遷

昭和62年 (成分:kg/10a)

主要地帯 (土性)	成分 施肥時期	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
		基肥	追肥	基肥	基肥	追肥
下越北部 (壤質)		4	3~6	10	8	3
新潟平場地 (粘質)		3	2~5	7	6	2
中越 (粘質)		3	2~5	7	6	2
上越 (粘質)		3	2~5	7	6	2
山間地 (粘質)		4~5	3~6	10	8	3
佐渡 (粘質)		3~4	2~5	8	6	3

資料:新潟県「水稲移植栽培指針」

平成17年 (成分:kg/10a)

主要地帯 (土性)	成分 施肥時期	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
		基肥	追肥	基肥	基肥	追肥
下越北部 (壤質)		3~4	2~3	8	8	3
平場地 (粘質)		2~3	1~3	7	6	2
(砂質)		3~4	1~3	8	8	3
山間地 (黒ボク)		4	2~3	10	8	3
(粘質)		2~3	1~3	10	6	3
佐渡 (粘質)		3	2~3	8	6	3

資料:新潟県「水稲栽培指針」

図(1)-15 施肥基準変化の例  
(農林水産省、2009)

ii. 面源負荷の特徴を踏まえた設定 ~非均質性~

面源負荷のもう一つの特徴である「非均質性」について言えば、同じ流域内の同じ土地利用であっても、原単位が異なることがある。その要因として考えられるものとしては、例えば以下のようなものが挙げられる。

- ・森林地域：樹種、樹齢、管理の程度（間伐等）、マツ枯れ・ナラ枯れ、土質、気象条件、大気降水物 等
- ・市街地：各利用区分面積（道路、緑地等）、各用途区分面積（工業地域、住宅地等）、交通量 等
- ・農地：施肥量、栽培作物の種類、栽培方法、用水濃度、用水量、土壌タイプ、圃場整備の有無 等

一方で例えば琵琶湖に係る湖沼計画においては、宅地・道路の原単位は東京都内で調査されたものに基づいているなど、非均質性を考慮せず他流域の調査結果を利用しているケースがある。非均質性を踏まえた調査について、「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン」（環境省水・大気環境局2009）では、「調査地点の設定に際しては、非特定汚染源負荷の特徴である非均質性を十分考慮し、（中略）当該流域の水質等の特性を代表する地点を選定する」と記載されている。しかしそもそも何をもって代表的であるとするかが難しく、また先述した面源負荷の調査の困難性を鑑みれば多くの地点で調査を行うことは現実的でない。実際には調査のしやすさなどの観点から調査地点が選ばれることも多いだろう。一方で水田における水管理<sup>37)</sup>や森林におけるマツ枯れ<sup>38)</sup>など、影響が明確でまた小さくないものも個別に明らかになってきているので、それらの知見を総合しつつ調査地点を選定していくことが望まれる。

iii. 物質収支との整合性

面源負荷の原単位を算出する際には、各面源からの排水を直接調査するだけでなく、その要因を探り対策に結びつけていくためにも物質収支との整合性を確認することが望まれる。市街地由

来負荷に限定すれば、負荷の由来や流出過程が比較的単純であるため、例えばWada *et al.* (2010) は道路からの流出負荷を、降雨時を含めて調査し、モデルで再現することで、道路の負荷流出メカニズムを探っている<sup>39)</sup>。

一方、森林や農地については、研究レベルでも不明な点が多く、実際にはなかなか行われていない。森林については、森林における物質循環の観点からの調査研究は多数行われているが、原単位のようなマクロな評価との関連についてはほとんど検討されていない。水田については、しばしば降雨や用水、施肥によるインプットと、地表排出、地下浸透、収穫によるアウトプットについて考慮された物質収支図が描かれるが、圃場の土壌の流失、排水路における巻き上げ、地力窒素、窒素固定、残存施肥、脱窒などはほとんど考慮されることがなく、それらを無視した上で帳尻の合うように収支を描いていることが多い。しかし前述のように、降雨時調査を実施すると水田からの負荷量が従来の想定より大幅に大きいとすれば、その負荷はどこから来ているのかを検討しなくてはならない。これまで無視していた要素の中に物質収支に大きな影響をもたらしているものがある可能性もある。これらについては今後の研究による解明が待たれる。

#### iv. 原単位の推定方法

面源負荷の原単位は一般に、一定期間の流出負荷量を調査（計算）し、それを期間や面積で割って単位あたり負荷量とすることで求められる。この一定期間の流出負荷量の算出には、区間代表法、L-Q式（L-R式）による方法、シミュレーションモデルによる方法、物質収支から計算する方法があるが、原単位を求めるという目的を考えればそれぞれ一長一短である。前述の物質収支を除き、各手法の概要と長所・短所は以下のようにまとめられる。

- ・ 区間代表法：各時間における負荷量は、その時刻から最も近い負荷量の調査結果と同等であるとして合計の負荷量を算出する。調査結果のみから算出できるため、その理論的根拠は明快であるが、調査頻度が少なかったり降雨時調査が実施されていなかったりすると誤差が大きくなる。
- ・ L-Q 式（L-R 式）による方法：流量（Q）と負荷量（L）の間には一般に強い相関があるため、これらの関係を、調査結果を基に何らかの数式で記述し、できるだけ長期間の流量の連続観測データから負荷量を算出する。流量データが十分存在しない場合は、降水量（R）で代用される場合もある。L-Q 式を算出する上で降雨時調査を実施できれば最も汎用性が高い方法である。しかし L-Q 図を描いた場合、降雨開始直後と終了間際に軌跡が異なるケースがあり、またイベント（栽培スケジュール、融雪出水等）ごとに式が変わることもあるため、算出された式の適用範囲に注意が必要である。
- ・ シミュレーションモデルによる方法：負荷流出を再現できるシミュレーションモデルを構築し、できるだけ長期間のシミュレーションを実施して単位時間・面積あたりの負荷量を算出する。負荷流出のメカニズムを明確にすることはできるが、モデルが複雑になるほどパラメータ決定のために結局頻度高い調査が必要であり、原単位を求めるためにわざわざシミュレーションモデルを構築する意義は小さい。ある地域で構築したモデルの入力条件を変更することで、別の地域でも応用できる場合はこの限りではないが、そのような万能なモデルはまだ研究段階であると言ってよい。

このように、それぞれの原単位の推定方法の特徴を踏まえ、方法の選択を行っていく必要がある。

## b. 原単位を用いた負荷量の計算方法

### i. 排出負荷量と流入負荷量（流達率）の扱い

面源負荷の原単位は通常発生源付近での負荷量を表しているもので、その後の水路や河道における沈降や浄化などのプロセスは考慮されていない。一方で湖沼や海域への流入負荷量を算出する場合には、この原単位を積み上げてそのまま流入負荷量としているケースがほとんどであり、面積の大きな流域では実態と乖離している可能性が高い。

このことの問題は、この流入負荷量を用いて湖沼や海域の水質シミュレーションを実施している点にある。湖沼や海域の水質シミュレーションでは、観測されている水質データに合うように各種パラメータの同定が行われる。浄化機能が考慮されず流入負荷が実際よりも過大であったりすると、例えば湖沼や海域における懸濁物質の沈降速度を過度に高くしたり、底泥からの溶出を過小に評価したりすることにつながってしまう。このような帳尻合わせが行われると、まともな予測はできなくなるし、現象解明という点からも大きな問題である。

大久保らは滋賀県内の流域で調査を行い、下流部における負荷量と原単位法による排出負荷量の比較を行っている<sup>40)41)</sup>。この結果によれば、水田が卓越する流域ではTN・TP共にほぼ同程度、森林が卓越する流域ではTNで同程度、TPでは過小評価である可能性を示唆している。しかし水田については、前述のように原単位が排出負荷量として過小である可能性が高いため、原単位自体の見直しはいずれにしても必要であろう。

### ii. 負荷のダブルカウント

原単位を用いて負荷量を計算する際、他の点源・面源ですでに考慮されているものを重複して計上するというダブルカウントの問題が生じているケースがある。

例えば琵琶湖に係る第5期湖沼計画の場合、畜産由来負荷について、農地還元した分の一定比率が流出して汚濁負荷になると考え、畜産系の原単位が設定されていた。滋賀県では、牛・鶏の糞尿と豚の糞については全量農地還元されている。また豚の尿は、浄化装置を所有している畜産農家は放流し、浄化装置を所有していない畜産農家は100%再利用されている。しかし、農地還元分についてはすでに農地からの負荷としてその原単位に計上されているため、別途畜産系の原単位として考慮するとダブルカウントとなる。農地還元されている負荷については計上せず、排水処理により別途発生する負荷のみ考慮するのが正しい計算方法である（第6期計画ではこのように修正された）。

また、面源負荷の原単位は通常地下浸透分も含んだものとなっているが、同じく琵琶湖に係る第5期湖沼計画の場合、琵琶湖への流入負荷を算出する際、地下水負荷が別途カウントされているという問題があった（第6期計画ではこの点も修正された）。個別の原単位の値だけでなく、それらを総合して負荷量を算出した場合に重複がないか再検討することが必要である。

### iii. 原単位間の考え方の不整合

面源負荷の原単位は、森林、農地、市街地などがそれぞれ別の方法で調査、設定されているために、合わせて使おうとすると、原単位間に考え方の不整合が生じるケースがある。例えば琵琶湖に係る湖沼計画の場合、面源負荷原単位の中に、気象によって原単位が変わるものと変わらないもの、対策の進展によって原単位を変えるものと変えないものが混在している。

具体的には、森林のみ気象によって原単位が変化することになっている。降水量が多ければその分面源負荷が多くなるというのは妥当な考え方ではあるが、これは面源負荷全体に共通する特

徴であり、森林だけに適用するのは整合性の点から問題がある。

また水田のみ対策の進展を考慮して原単位が減少することになっている。このことは、森林や市街地では対策を考慮しづらいことを鑑みれば特に問題ではないが、琵琶湖の場合の問題点は、この対策量が原単位を設定した年度（1995年度）以降更新されていないこと、また原単位以外の部分で別途水田の対策効果を考慮していることにある。

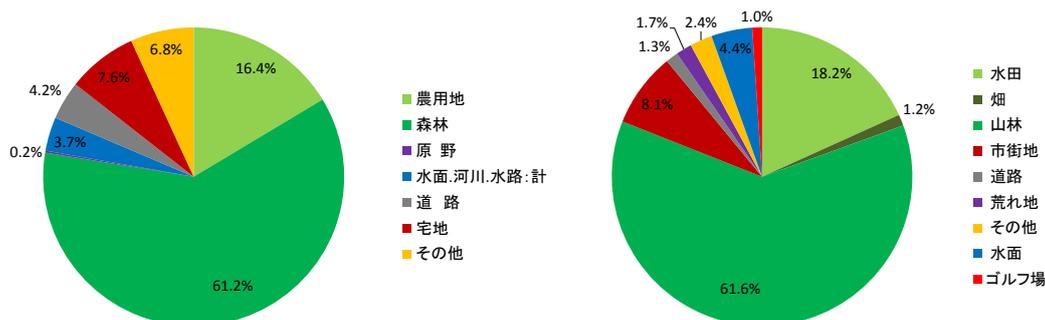
個別の原単位の設定方法について妥当であっても、合わせて用いることで整合性の問題が生じないかどうか確認が必要である。

#### iv. 原単位間の考え方の不整合

原単位そのものの問題・課題ではないが、原単位にかかる各土地利用の面積もその算出方法により大きな誤差を伴うものである。

例えば、土地利用の面積として、行政が市町村ごと等にまとめているデータと、地理情報システム（GIS）で使われるメッシュデータ（10m、100mメッシュ等）とでは、元となるデータや分類の考え方が異なるため、土地利用面積が異なることがある。例として、図(1)-16に滋賀県の土地利用面積比率を行政データと国土数値情報（3次メッシュ）データで比較したものを示す。森林（山林）では大きな違いはないものの、市街地や農用地、水面では1割前後、また道路では3倍以上異なることが分かる。

また琵琶湖に係る湖沼計画の場合、原単位法により負荷量を算出する際、水田や畑の面積は滋賀県のデータではなく農林業センサスのデータを用いることになっている。例えば2005年度の滋賀県データによる農地面積は54,912haである一方、農林業センサスのデータでは44,645ha（水田43,192ha、畑1,453ha）であり、両者は大きく異なる。これは、農林業センサスのデータでは実際に耕作が行われている農地のみを考慮しているためであり、休耕田などは加味されていないことに起因する。この場合、休耕田などの負荷量をどうするかについては別途検討が必要である。



図(1)-16 滋賀県の土地利用面積比率（2006年度）  
（左図：行政データ、右図：国土数値情報データ）

また、流域界と行政区は一般に一致しないので、市町村単位などの土地利用データを用いて特定の流域の土地利用を求める方法によってフレーム値も変化する。単純に面積比率で割り振る方法から、メッシュデータを利用して割り振る方法などがあり、フレーム値の精度に影響することを理解しておく必要がある。

### c. 原単位の利用方法

#### i. 原単位の見直しのスキーム

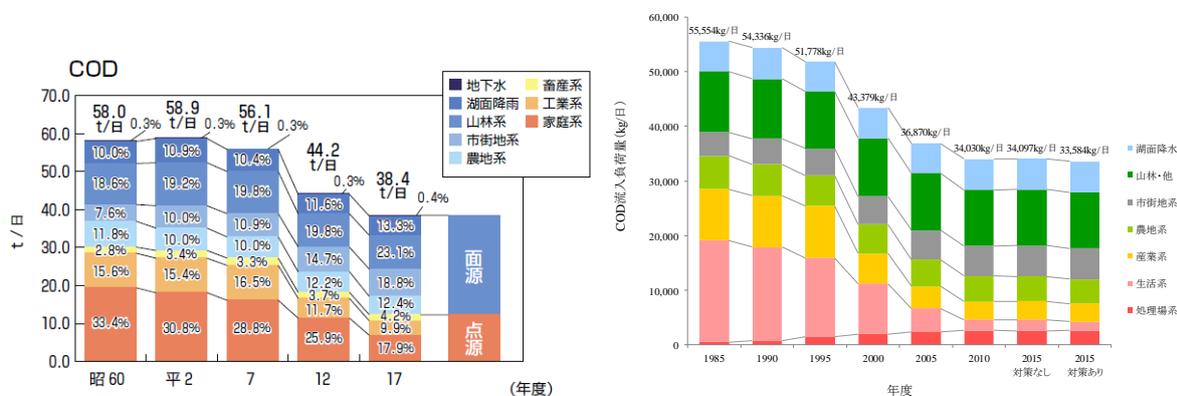
原単位に関する調査実績は年々積み重ねられており、科学的な観点からは適宜その時点で最適なものを利用して負荷量を算出することが望ましい。しかし、湖沼計画などの行政計画においてはなかなかそのようにはなっていないのが現状である。例えば琵琶湖に係る湖沼計画では、水田では第3期（1995年度）以降、畑では第2期（1990年度）以降、宅地道路では第1期（1985年度）以降、同じ原単位が使われ、見直しは行われていない。これには以下のような理由が考えられる。

- ・ 一度決めたことを変えるには相応の理由が必要であり、変えないことにより社会的に大きなデメリットがあったり、科学的に見て明らかな誤りがあったりしない限り、簡単には変えることができない。
- ・ 原単位を変えることでこれまでの対策の妥当性を問われるようなことは避けたいと考える。軽微に変化する場合は問題ないが、近年指摘されている水田負荷のように大きな変化を伴う場合、行政としてはこれまでの対策の否定や風評被害につながることを恐れて変えたがらない傾向にある。

確かに原単位を闇雲に変更する必要はないが、調査実績が蓄積されている一方で現在のように30～40年前の原単位を継続して使用するの是不自然である。関係者間で、ある程度は、原単位は定期的に見直すもの（例えば5年に1回の湖沼計画策定時など）という認識を共有しておくことが望ましい。

#### ii. 原単位法的前提条件の理解

原単位法によって算出された負荷量やその経年変化のグラフは、感覚的に分かりやすいためにともすれば結果が一人歩きすることがしばしば見られる。例として、図(1)-17に琵琶湖に係る第5期湖沼計画策定時の負荷量と第6期計画策定時のCOD負荷量のグラフを示す。第5期では1990年（平成2年）に負荷量の若干の増加が見られており、これが水質に与える影響が指摘されていたが、第6期に諸条件を見直して再計算したところ、このような増加現象はなくなった。前述のように、原単位の出典やフレーム値の算出方法などにより結果は大きく変化してくるため、原単位法的前提や結果の不確実性に関する情報を合わせて出していくと共に、少なくとも行政の担当者や関係者はその内容について理解しておく必要がある。



図(1)-17 原単位法による琵琶湖へのCOD流入負荷量 (左図：第5期湖沼計画時<sup>42)</sup>、  
右図：第6期湖沼計画時<sup>43)</sup>)

### iii. 多様な物質の評価

湖沼計画、水質総量削減計画といった行政計画では、原単位としてはCOD<sub>Mn</sub>、TN、TPの3種についてのみ設定されている。しかしCOD<sub>Mn</sub>では湖沼の有機汚濁の状況を把握できないことが明らかになってきていること<sup>44)</sup>、湖沼や海域における内部生産を考慮する観点からは窒素やリンの溶存態の方が重要と考えられること<sup>41)</sup>などを鑑みれば、今後TOCや各物質の形態別負荷についても原単位を設定していくことが望まれる。滋賀県では国や関係機関との連携のもと、2007年度よりTOCによる負荷量調査を進めている。第6期湖沼計画ではTOCを使った原単位の設定や、現況再現・将来予測シミュレーションを行っており、こうした調査やデータの蓄積が必要である。

### iv. 文献値の利用

多数ある原単位の調査結果のうちどれを採用するかは、地域により、また目的により変わってくる。しかし例えば、岡山県の児島湖では、瀬戸内海（総量規制）と湖沼計画で原単位が違っており、これに明確な根拠がないのであれば、部局横断的に調整していく取り組みも必要であろう。

また行政で活用される原単位を今後見直していく上で、現在の原単位がどのような根拠に基づき設定されたものなのかを知るための資料は必要不可欠である。しかしそれがまとまった文書の形で整理されていることはあまり多くなく、自治体の担当者も全容は把握していないといったケースがかなり存在する。行政計画で活用される原単位については、内部資料ではなく、研究機関の年次報告書や学会誌等の公開資料としてまとめ、蓄積していくことが強く望まれる。

## 5) これからの原単位のあり方について

面源からの流出負荷量を算出する場合に原単位を選ぶ上で考慮すべき諸点についてとりまとめ、今後の原単位のあり方について検討した結果を以下に示す。

環境省がとりまとめた非特定汚染源に係るガイドラインでは、非特定汚染源について用途と利用という二つの側面からの区分を行っている。用途別および利用別にまとめた排出源をそれぞれ表(1)-20と表(1)-21に、各区分別排出源に基づいたごとの流出負荷量の計算方法を式1と式2に示す。

表(1)-20 非特定汚染源の用途区分別排出源

地域	用途区分別排出源
都市地域	住居地域、商業地域、工業地域
農業地域	水田、普通畑、樹園地、牧草地
森林地域	樹林地、竹林等
その他	ゴルフ場、スキー場、開発地域等

$$L_{ny} = \sum (U_{mi} \times A_{mi} \times \beta_{mi}) \dots \dots \dots \quad (\text{式1})$$

$L_{ny}$  : 非特定汚染源負荷の年間流出負荷量 (kg/年)

$U_{mi}$  : 用途区分iの排出負荷原単位 (kg/ha/年)

$A_{mi}$  : 用途区分iの占有面積 (ha)

$\beta_{mi}$  : 用途区分iの汚濁負荷流出率

表(1)-21 非特定汚染源の利用区分別排出源

地域	利用区分別排出源
都市地域	道路、屋根、公園、駐車場等
農業地域	耕地別・作物別(水稲、ハス、キャベツ、ナス、茶等) 放牧種別(牛、馬、羊等)
森林地域	針葉樹人工林、広葉樹人工林、針葉樹天然林、広葉樹天然林等

$$L_{ny} = \sum (U_{nj} \times A_{nj} \times \beta_{nj}) \dots \dots \dots \quad (\text{式2})$$

$L_{ny}$  : 非特定汚染源負荷の年間流出負荷量 (kg/年)

$U_{ni}$  : 利用区分iの排出負荷原単位 (kg/ha/年)

$A_{ni}$  : 利用区分iの占有面積 (ha)

$\beta_{ni}$  : 利用区分iの汚濁負荷流出率

このガイドラインでは、計算の基礎となる排出負荷原単位が与えられていないため、どのような原単位を使うかによって排出負荷量原単位の結果は大きく変わることになる。降水、森林、農地、市街地のより確かな排出負荷原単位を求めるための調査方法が示されており、将来的にはこうした調査結果の蓄積により科学的に根拠のある実態に即した排出負荷原単位が取りまとめられることが期待される。

これまでの検討結果から明らかなように、原単位の中には1970年代に設定されて以来40年以上も前のその根拠も今となってはわからない値がそのまま使われているものが含まれている。農地の原単位についても、たとえば水田の場合、施肥の種類と方法（緩効性、施肥量など）、水管理を含めた耕作方法の変化、水田の40%を占めている休耕田とその中の転作田の割合の増加、さらに耕作放棄水田の増加、とこの40年余で水田を取り囲む状況は大きく変化しているにもかかわらず、原単位は変更されていない。調査期間も作付期の調査結果にのみ基づけば、非作付期を含めた年間の評価がされていないことになる。そのため、農業の実態とかけ離れた科学的根拠のない原単位に基づいて流域の発生（流出）汚濁負荷量が評価されることになる。

本研究で実施した各面源ごとのデータベースに基づいて検討した原単位の値は、現時点における科学的に裏付けられた確からしい値といえる。

非特定汚染源負荷は、予測することが困難な降雨の短期的変化（降雨頻度や降雨強度の変化）と長期的変動（気候変動等による変化）の影響を受ける特徴がある。同時に、対象流域は各地方特有の気候的条件（気温、降水量、降雪と融雪）、地理的条件（地形、標高・方位・市街地・農地・畜舎・幹線道路からの距離など）、地質・土壌条件、植生条件（人為的管理の有無を含む）などの自然要因と、農地の施肥条件（施肥の有無、施肥量、施肥の種類と方法、散布時期など）、市街地の下水道整備状況と雨水排除方式（合流式と分流式）、流域の開発・土地利用状況などの人為的要因という環境条件の違いがある。その結果として、それぞれの原単位の値は地域ごとに大きく違うことになるので、これら諸条件を考慮し、各地域における適切な原単位を用いることが求められる。

原単位を決める調査期間としては、少なくとも1年間実施されている調査を基本とすべきである。調査時期と頻度については、森林・農地では連続的な流量観測とあわせて、週1回以上の頻度の高い水質の定期調査と降雨時調査が行われていること、農地では代かき・田植え、施肥等の各種イベントにあわせた水質調査がされており、都市域では最低、四季に各1回程度の降雨時調査が必要である。また、降雨パターンの異なる調査データを取得することが望ましい。

実際に原単位として使う場合における非特定汚染源ごとの留意点について、「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン」を参考に以下にまとめた。

直接大気降下物負荷（晴天時の大気降下物負荷と降水負荷を含む）については、晴天時の大気降下物負荷と降水負荷を一緒に採取するデポジット法、あるいはこれに準じる方法で実施されていること、畜舎や施肥量の多い畑地および煙突や交通量の多い道路等からの排ガスなど人為的発生源の直接的な影響がなく、その地域の平均的な負荷量が把握できる地点の結果を使って原単位とする。なお、降水量は、調査地点で雨量計を設置した実測をしない場合は、近隣の「地域気象観測システム（通称アメダス）」（気象庁）や、「レーダーアメダス」（国土交通省防災情報提供センター）のデータを利用する。

森林地域の排出負荷については、森林地域から流出する定期および降雨時の河川調査が行われていることを基本とするが、流量の支配性が高いことから、原単位は自動水位計等による連続水位データを用いてH-Q曲線から求めるなど、密な流量観測データに基づいて計算された原単位を用いる。

農業地域からの排出負荷については、雨水の流出に伴って地表面から流出する他、かんがい排水や地下浸透水が浸出あるいは湧出することによっても起こること、降水量の他、地形、地質・土壌、用排水方式、代かきや田植えの時期、作物の種類（水田ではコメの種類）、施肥方法等を考慮した結果を使う。

都市地域排出負荷は、道路、屋根、間地（公園緑地、駐車場、庭等）に降下・堆積した交通粉塵、大気降下物、落葉等が、雨水流出に伴う流出により生じるが、分流式下水道の整備された地域においては、降雨時に雨水管ないし雨水排水路から排出される負荷量を測定した結果により総負荷量を包括的に捉えることができる。一方、下水道未整備地区、合流式下水道整備地区、排水システムが複雑な地区など、発生源と流出との対応ができない、あるいは特定汚染源負荷が流入している場合は、降雨時等に個別の排出源から排出される負荷量の測定結果により、利用区分（道路、屋根、公園、駐車場等）ごとの原単位を決めることが必要である

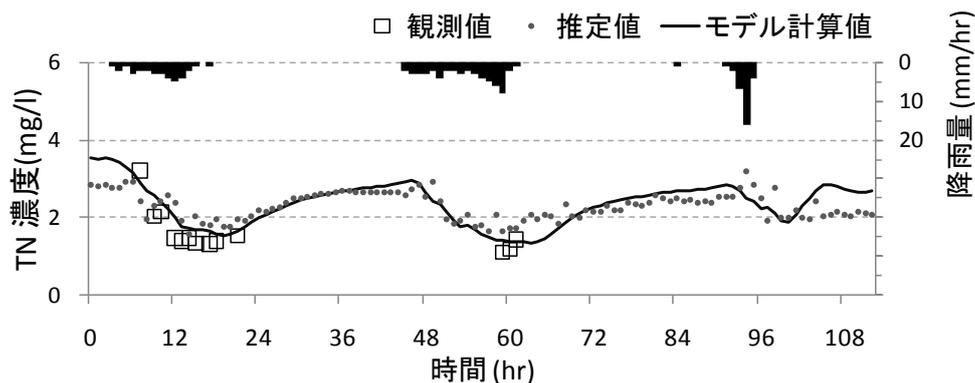
次に、簡便な方法で正確な値を求めることができる原単位の推計手法について検討した。

より正確な原単位を求める上で必要とされる基本事項は上述のとおりである。この中で流量については、一般に普及している低価格のデータロガー付水位計を使い実測流量との関係式であるH-Q曲線を作成することで、流量の連続データを得ることが可能になっている。一方、水質については水温、電気伝導度、濁度などの物理的項目の自動計測は可能であるが、pH、COD、窒素、リン等については、試料は自動採水器で採水できたとしても分析の時間と経費を考えると自ずと限界があり、結果的に原単位を簡便に正確な値を求めることは困難となる。

そうした問題を解決するために、連続測定が可能な、例えば濁度と電気伝導度（EC）のデータを利用して原単位を推定する方法が提案されている。金らは、濁度と電気伝導度の連続データを使って流域内TN 負荷量の推定を試みている<sup>45)</sup>。図(1)-18に、TN 濃度の観測値、回帰式での推定

値とキャリブレーション後の流域水物質循環モデル (SIPHER モデル) による計算値の関係を示す。この図からは両者の結果が整合していることが伺え、こうした連続観測データから観測が難しい雨天時におけるTN流出挙動を再現できる可能性を示唆している。

有機物濃度や栄養塩濃度という化学的水質指標と濁度と電気伝導度という物理的水質指標は本質的に異なるものであり、両者の関係やこうした手法についてはさらに研究が必要であるが、原単位の推計手法についての一つの方向性を示唆したものといえる。



図(1)-18 TN 濃度の観測値、推定値、モデル計算値の比較<sup>45)</sup>

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

これまで系統的に収集されていなかった大気降下物、森林、農地、市街地の原単位を整理し、当該文献や報告書に記載の関連情報とともに内容をまとめることができた。

現在使用されている原単位の根拠を明確にするとともに、使用されている原単位の問題点について示すことができた。

### (2) 環境政策への貢献

環境省水・大気環境局水環境課と密接に連絡をとり、非特定汚染源対策の推進に係るガイドラインに基づいた調査計画の在り方、次回の総量削減に向けた原単位の在り方を検討する際に有用となる知見の提供などに貢献した。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文 (査読あり) >

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表 (査読なし) >

特に記載すべき事項はない

## (2) 口頭発表（学会等）

特に記載すべき事項はない

## (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

## (4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない

## (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

## (6) その他

日本水環境学会のホームページ内に設置し一般公開するための、成果に関するウェブページを作成した。

## 8. 引用文献

- 1) 中央環境審議会（2010）第7次水質総量削減の在り方について（答申），  
[http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=15463&hou\\_id=12349](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=15463&hou_id=12349)
- 2) 農林水産省官房総務課公害環境保全対策室（1979），水質の総量規制に係る総量削減基本方針における3号総量（案）の提示についての意見等（昭和54年5月12日），pp2-7
- 3) 環境庁（1979），農水省からの意見に対する環境庁回答（案）（昭和54年5月19日），p. 3
- 4) 洞沢勇（1973），河川上流における自然汚濁量と比流量について，用水と排水，Vol. 15，No. 11，pp. 1327-1331
- 5) 設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所（1973），第3章汚濁負荷量原単位第9節山林，霞ヶ浦水質現況調査報告書（水質汚濁発生負荷量原単位），pp. 182-229
- 6) 土木学会（1971），3.7流出率の推定，「琵琶湖の将来水質に関する調査報告書 昭和45年度」，pp. 30-55
- 7) 田淵俊雄・黒田久雄（1993），LQ式による流出負荷量計算に与える測定頻度の影響，農業土木学会論文集，164，pp. 1-9
- 8) 多田明夫・吉村亮祐・田中丸治哉・畑武志（2006），山林小流域からの溶存イオン流出負荷量の推定精度について，農業土木学会論文集，No. 242，pp. 39-48
- 9) 浮田正夫・中西弘小河川におけるN，P流達率に関する研究（1976），衛生工学研究論文集，12，pp. 114-119
- 10) あし部良生・村瀬義典（1975）：自然汚濁負荷に関する一考察，下水道研究発表会講演集，No. 12，pp. 449-451
- 11) 建設省都市局監修，流域別下水道整備総合計画調査指針と解説（平成11年度版）（1999），日本

下水道協会, pp70-71

12) 和田安彦・西村員彦(1987), 河川流出負荷メッシュ解析システムの研究, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, Vol. 1987 pp. II. 62. 1-II. 62. 2

13) 例えば, 増田貴則・市川新・稲岡美紀・植田泰行(1999), 琵琶湖流入河川の実測水質データとGISを用いた汚濁負荷量推定に関する一考察, 第33回日本水環境学会年会講演集, p. 228

14) 浮田正夫・関根雅彦・山本修司・中西弘(1984), 河川の汚濁負荷流達率に関する研究 V 揖保川のポルトグラフシミュレーション, 土木学会年次学術講演会講演概要集第2部, Vol. 3th, pp. 743-744

15) 小林慎太郎・丸山利輔(1988), 土地利用別汚濁負荷流出タンクモデルによる琵琶湖水系の汚濁負荷流出量の推定, 農業土木学会大会講演会講演要旨集, Vol. 1988, pp. 450-451

16) 滝本和人・川嶋忠義・有吉靖信・北出哲朗・川相吉弘(1991), リン負荷量を基にした河川水中のリン濃度のシミュレーション, 水質汚濁研究(日本水環境学会), Vol. 14 No. 11, pp. 806-814

17) 赤尾聡史・宗宮功・藤井滋穂・岸本直之(1999), 流域水環境管理のための分布型モデルの構築, 第33回日本水環境学会年会講演集, p. 31

18) 鈴木穰・岡安祐司・久岡夏樹(2009), 閉鎖性水域と下水道の放流水質の関係に関する研究業務-下水道未整備地域における汚濁負荷流出モデルの構築と排出・流達負荷量の評価-, 土木研究所資料, No. 4123, pp. 43-48

19) 和田一斗(1998), 霞ヶ浦流域における流域管理のための分布型物質流動モデルの構築(建設省土木研究所S), 土木研究所資料, No. 3588 pp. 286-289

20) 久保田富次郎・樽屋啓之・宮本輝仁・塩野隆弘(2003), 流域の窒素負荷動態を推定するための複合タンクモデル, 九州沖縄農業研究成果情報, No. 18 下巻 pp. 593-594

21) 吉村千洋・竹内邦良(2007), 分布型流出モデルによるメコン川流域の栄養塩流出過程の推定, 水文・水資源学会誌, Vol. 20, No. 6, pp. 493-504 (J-STAGE)

22) Park. J・小尻利治・友杉邦雄(2003), 流域環境評価のためのGISベース分布型流出モデルの展開, 水文・水資源学会誌, Vol. 16 No. 5 pp. 541-555

23) 環境省(2008), 有明海・八代海総合調査評価委員会中間とりまとめ

24) 大阪湾流域別下水道整備総合計画検討委員会(2008), 平成19年度大阪湾流域別下水道整備総合計画基本方針大阪湾に係る許容負荷量の設定

25) 松本敬信(1995), 河川における環境負荷低減に関する研究(河川環境管理財団S), 河川整備基金助成事業調査・試験・研究報告, Vol. 1991, pp. 8. 14-8. 18

26) 大久保卓也・村上昭彦(1995), 利根川における水質経年変化と流域環境変化の関連分析, 用水と廃水, Vol. 37 No. 3, pp. 202-211

27) 田淵俊雄(1999), 湖沼流域における面源の窒素排出負荷量, 用水と廃水, Vol. 41 No. 6, pp. 520-525

28) 沖野外輝夫・戸田任重・中佐綿・川島博之(2000), 千曲川流域における窒素負荷発生量の変遷, システム農学, Vol. 16 No. 2, pp. 183-187

29) 二瓶泰雄・大塚慧・広瀬久也・影山英将・東京湾における流入負荷の経年変化(2008), 海岸工学論文集, Vol. 55 No. 2, pp. 1226-1230

30) 大久保卓也・藤井滋穂・今井章雄(2007), 湖沼環境保全への新たな取組み琵琶湖における水質

動向と水環境保全の新たな方向性，用水と廃水，Vol. 49 No. 7, pp. 582-592

- 31) 大見謝辰男・仲宗根一哉・比嘉栄三郎・満本裕彰，モデル流域における汚濁物質の流出予測に関する研究流出予測システムの検証（内閣府S）（2002），平成13年度サンゴ礁に関する調査研究報告書，pp. 87-95
- 32) 鷹野洋・冠野禎男・吉川省子・高橋英博（2010），備讃海域での汚濁負荷の解析，岡山県環境保健センター年報，No. 34, pp. 25-30
- 33) 松重一夫・相崎守弘・三浦真吾（2000），地理情報システムを活用した霞ヶ浦流域の流域管理に関する研究阿見町，つくば市，土浦市を例として，国立環境研究所研究報告，No. 150, p. 85
- 34) 国土交通省関東地方整備局（2006），第3回東京湾流域別下水道整備総合計画策定懇談会資料，～東京湾水質解析モデルの現況再現計算結果について～
- 35) 大久保卓也・佐藤祐一・須戸幹（2012a），水田の汚濁負荷量原単位算定における問題点，第46回日本水環境学会年会講演集，p. 419,
- 36) Sugimoto, Y., Komai, Y., Kunimatsu, T. (2008), Evaluation of loading rate of nitrogen from rice-paddies by small watershed method, J. Water & Environ. Tech., 6, pp. 113-126
- 37) 蓮川博之・柴原藤善・駒井佐知子・水谷智・大林博幸・藤井吉隆・須戸幹（2009）環境こだわり農業の取り組みによる水稻作付期の流出負荷低減効果，滋賀県農業技術振興センター研究報告，第48号，pp. 1-21
- 38) Ohte, N., Tokuchi, N., Katsuyama, M., Hobara, S., Asano, Y. and Koba, K. (2003), Episodic increases in nitrate concentrations in streamwater due to the partial dieback of a pine forest in Japan: Runoff generation processes control seasonality, Hydrological Processes, 17, pp. 237-249
- 39) Wada, W. and Fujii, F. (2010) Estimation of pollutant loads from urban roadway runoff, Water Science & Technology, 61(2), pp. 345-354
- 40) 大久保卓也・辻村茂男・川寄悦子・須戸幹・柴原藤善（2009），ノンポイント負荷が琵琶湖水質に及ぼす影響の把握，滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 試験研究報告書，4, pp. 50-64
- 41) 大久保卓也・東善広・佐藤祐一・辻村茂男・金子有子・森田尚・大前信輔（2012b），政策課題研究2 面源負荷とその削減対策に関する政策課題研究一面源負荷量の定量的把握と今後の面源負荷対策の方向性の検討一，滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 試験研究報告書，7, pp. 70-86
- 42) 滋賀県（2011），滋賀の環境2011，
- 43) 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター（2011），第6期湖沼水質保全計画に係る将来予測シミュレーションについて，滋賀県環境審議会 水・土壌・大気部会 資料，2011
- 44) 岡本高弘・早川和秀，琵琶湖における溶存有機物の現状と課題（2011），水環境学会誌，35（5），pp. 151-157
- 45) 金鎮英・中島典之・古米弘明・上原浩・湯浅岳史・荒巻俊也（2011），濁度とECの連続観測データを活用した窒素流出負荷量の推定手法による原単位の評価，第14回日本水環境学会シンポジウム講演集，pp. 233-235

## Study on Load Estimation of Non-point Source Pollution

Principal Investigator: Hiroaki FURUMAI

Institution: Japan Society on Water Environment  
Research Center for Water Environment Technology,  
Department of Urban Engineering, Graduate School of  
Engineering, The University of Tokyo  
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, JAPAN  
Tel: +81-3-5841-6239 / Fax: +81-3-5841-8535  
E-mail: furumai@env.t.u-tokyo.ac.jp

Cooperated by: Department of Environmental Engineering, Osaka Institute of Technology,  
Department of Architecture and Civil Engineering, Toyohashi University of  
Technology, Department of Civil Engineering, Gifu University

[Abstract]

Key Words: Non-point sources, Specific load, Estimation methods

Various measures for reducing the pollutant loads of COD and nutrients have been carried out since 1970's to control eutrophication in enclosed water bodies such as lakes and inner bays. However, non-point source pollutant load has not been sufficiently evaluated. For instant, values of specific load used for pollutant load control in the Seto Inland Sea have not changed since 1980. Therefore, the validity of current specific load values should be re-evaluated based on scientific findings for thirty years and a novel design concept of institutional arrangement of specific load have to be proposed.

A lot of literature on non-point source pollution from urban area, farm land, forest area, and aerial deposition was collected and summarized. A database of reported values of specific pollutant load was constructed with relevant information on catchment characteristics and monitoring conditions. The number of the values collected is 506, 850, 317, and 20625 for urban area, farm land, forest and aerial deposition, respectively. The summary outcome of statistical analysis such as mean and median values was tabulated for each specific load of non-point sources.

In urban area, the maximum values of specific load of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and COD are almost three orders of magnitude higher than the minimum ones. The half of whole data is within the range of 25 to 75 percentiles. Pollutant load information on farm land was summarized considering various types of agricultural fields, such as paddy and dry fields, fruit farm, tea garden, greenhouse horticulture, grass land, fallow and abandoned fields of cultivation. Regarding to forest area, data on specific load were collected from international research as well as domestic one. In addition, the related information to the specific load were

also collected such as climate and metrology as external factors as well as geography, geology, soil, vegetation, land-use as internal factors. Especially, an importance of wet weather monitoring was highlighted. Specific load of aerial deposition was similarly summarized as forest area.

In addition to the database construction, current situation of the institutional arrangements of specific load were described and its future challenges were discussed. Definition and historical use of specific load were examined with dictionaries and literatures. Calculation basis of pollutant load and usage of specific load were investigated referring to the regulatory systems of total pollutant load control of COD and nutrients in Japan, and so on. Then controversial subjects were identified for design of institutional arrangements of specific load under present condition, and its desirable future direction was discussed.

## 【RFb-11T1】非特定汚染源からの流出負荷量の推計手法に関する研究

- 背景
- ・内湾や湖沼の栄養塩濃度は、依然減少していない。
  - ・森林、農地、市街地などの非特定汚染源からの負荷量寄与の実態が不明である。
  - ・総量規制での原単位の情報が古い調査データに基づくものである。



目的  
非特定汚染源からの汚濁負荷量を適正に把握・評価し、湖沼・内湾への全流入負荷量に対する非特定汚染源の位置づけを、最新の科学的知見をもとに明確にする。

