

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月8日現在

機関番号：11601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20710033

研究課題名（和文）流域の仮想集水域指標の開発と環境コミュニケーション機能の分析

研究課題名（英文）Development of Environmental Indicators for Water Resources Management in River Basin and Analysis of Environmental Communication Function

研究代表者：

後藤 忍（GOTO SHINOBU）

福島大学・共生システム理工学類・准教授

研究者番号：70334000

研究成果の概要（和文）：流域での水利用に関する環境負荷を総合的に分かりやすく表すことを目的として、「仮想集水域」指標を開発した。仮想集水域とは、人々が暮らしている地理的な集水域とは異なり、域内の水利用と域外に依存する水利用とを含めた仮想的な水資源へのインパクトを表現する概念的な指標で、水利用が水資源賦存量の範囲内に収まっているか、あるいは、使い過ぎはどの程度か、などの評価が可能となる。具体的に、阿武隈川の支流で適用した結果、水資源賦存量よりも仮想水使用量が多いと推計され、使い過ぎの状況が明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：In order to evaluate the environmental loads by human usage of water resources in and out of river basin, “Virtual Catchment Area (VCA)” indicator was developed in this research. VCA indicator is the conceptual indicator that estimates the overall impact of human consumption on freshwater resources in and out of river basin. As results of application VCA indicator to several branch watersheds in Abukuma river basin, virtual water usage overshoots the amount of available water resources.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：仮想集水域，流域，環境指標，環境コミュニケーション

1. 研究開始当初の背景

近年、流域や流域圏を単位とする総合的な水資源管理の重要性が再認識されるようになってきている。エコシステムの単位としての流域圏の重要性はかねてから指摘されており、1977年の第三次全国総合開発計画においても、定住圏構想の一つの圏域を表すものとしてその概念が採り入れられてきた。しか

し、糠谷(2002)が指摘するように、流域圏を地域開発の基礎的な単位とする考え方は十分浸透することがなかった。その背景には、かつての広域的な生活経済圏としての流域の意味合いが小さくなっていること、また河川と流域住民の日常的な接触が希薄になっていること、などが考えられる。人々の生活は道路や鉄道等の交通ネットワークに支えられており、自然の水系のネットワークを基

盤とするものではなくてきている。また、上下水道の普及により、取水や排水などの行為と水系との関わりは人々の生活からますます離れていっている。加えて、近年盛んに実施された市町村合併なども、流域とは関係なく行われているところも多い。筆者がこれまでに調査を行った阿武隈川流域においても、河川の上流と下流で別々の市に合併したところなどの事例が見られる。

つまり、流域や流域圏の重要性は、理念的には健全な水循環を確保するという環境保全上の観点から叫ばれる一方で、現実的な人々の認識や生活経済圏のレベルではますます薄れていっているのが実情ではないかと考えられる。このような、失われていく流域への認識を時代の流れとしてそのままにしておくのか、それとも、流域単位での管理を行っていくために、河川に親しみ、河川を意識できるような施策を講じていくべきかについて判断が迫られており、筆者は後者の立場に立って本研究を構想した。

つまり、近年、その重要性が認識されている「流域」を単位とした水資源管理に役立てることを目的として、流域の環境情報を分かりやすく伝達することできる新たな指標を開発することである。

2. 研究の目的

本研究の主な目的は、流域における人間の社会経済活動による環境負荷を総合的に表すことのできる「仮想集水域指標」を開発することである。ここで「仮想集水域」とは、人々が暮らしを送っている地理的な集水域ではなく、域内の水利用と域外に依存する水利用とを含めた仮想的な水資源へのインパクトを表現する概念的な指標として、新たに考案したものである。

この指標により、流域での水利用状況が、地理的な流域の水資源量の範囲内に収まっているかどうかや、逆に使いすぎ（オーバーシュート）がどの程度であるかといった評価が可能になる。さらに、地理的な集水域と仮想集水域との乖離具合を表現できるため、日常生活でイメージすることが困難になってきている「流域」に対する人々の認識を促進する効果が期待できる。

当初の具体的な研究目的は、以下の二つであった。

- ① 仮想集水域指標を開発し、実際の流域に適用する。
- ② 指標の環境コミュニケーション特性について分析する。

実際の研究では、東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所の事故の影響もあり、②の研究は十分に実施できず、①が中心となった。

3. 研究の方法

(1) 水資源管理に関する既存の環境指標の整理

仮想集水域指標の開発にあたり、水資源や流域について、その健全さを表すためにこれまで開発されてきた既存の環境指標を整理した。それらの指標開発の潮流について、①流域の環境特性を表すための指標、②人々への分かりやすさを目的とした指標、③隠れたインパクトを含めるための指標、④持続可能な発展を表すための指標、の4つの類型に分けて、動向を整理した。

①については、日本学術振興会和田プロジェクト(2002)における「水質持続度」や「水量持続度」、原田ほか(2001)における「有機廃棄物持続度」、「食料持続度」、「二酸化炭素持続度」、大西ほか(1995)における「CO₂固定容量」、「水資源容量」などを取り上げた。

②については、国土交通省(2009)が新たに提案した、重点的に評価を行う項目としての「ゴミの量」、「透視度」、「川底の感触」、「水の臭い」、「水生生物の生息」や、環境省(2009)の水環境健全性指標(水辺のすこやかさ指標「みずしるべ」)を取り上げた。

③については、環境負荷を地理的な境界を越えて踏みつけた土地面積として計上するエコロジカル・フットプリント(ecological footprint, 以下EFPと略す)指標と同様の考えを水資源に適用したAllanのヴァーチャル・ウォーター(virtual water, 以下VWと略す)や、VWの概念をEFP指標に応用する形でHoekstra(2002)によって提唱されたウォーター・フットプリント(water footprint, 以下WFPと略す)を取り上げた。

④については、経済協力開発機構(OECD)のコアセット指標における「汚水処理接続率」、「水資源使用強度」や、国連持続可能な発展委員会(UNCSD)のコア指標等における「全水資源利用の割合」、「経済活動による水の利用強度」、「淡水中の糞便性大腸菌群数」、「BOD濃度」、「排水処理」などを取り上げた。

これらの課題として、a)水量と水質で指標が分けられている例が多い、b)総合的な指標において、水質が明示的に組み込まれていないことが多い、c)流域の状態を分かりやすく表現する指標がまだ発展途上である、の3つを指摘し、これらを克服するものとして、仮想集水域指標を開発した。

(2) 仮想集水域指標の内容

「仮想集水域」は、「物理的な集水域の水資源賦存量に対する、仮想的な水の使用量の割合を考慮した、概念的な集水域の広さ」と定義される。ここで水資源賦存量とは、理論上、人間が最大限利用可能な水資源の量で、降水量から蒸発散量や地下水涵養量を引い

たもののことである。

仮想集水域を考えるにあたり、環境容量に占める割合や使い過ぎの状況を表すことができるというEFPの特長を生かすとともに、水の使用量を計上するWFPの概念も適用した。流域の捉え方として虫明(2005)は、流域圏=集水域+利水域+排水域+氾濫域という考え方を提示しているが、仮想集水域はこの中の氾濫域を除く集水域+利水域+排水域について、仮想的な面積を推計する概念と位置づけられる。

計算にあたっては、流域における水資源賦存量に対する、仮想的な水の使用量の割合を求め、その比を集水域面積に乗じることによって計上した。つまり、仮想集水域は次式で表現される。

$$\text{仮想集水域}(\text{ha}) = \text{集水域}(\text{ha}) \times \frac{\text{仮想水使用量}(\text{m}^3/\text{年})}{\text{水資源賦存量}(\text{m}^3/\text{年})} \quad (1)$$

単位は、水の使用量をもとに面積を算出するため、主に計上する項目は水量 [m³/年] であるが、仮想集水域は面積 [ha] で表される。

流域の集水域面積を S_1 、水資源賦存量を M_1 、仮想水使用量を M_2 としたときの仮想集水域 S_2 の概念図を表すと図1のようになる。EFPと同様に、負荷が大きくなれば仮想集水域は実際の集水域よりも広い面積となる。

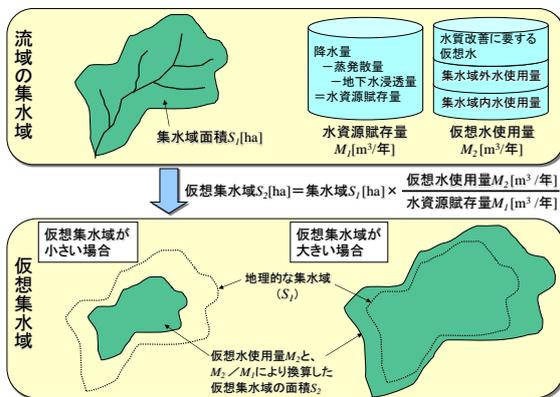


図1 仮想集水域指標の考え方

(3) 仮想集水域の算定項目

上記(1)式の中で、集水域は地理的に求まるものであり、また水資源賦存量は先行研究の事例があるので、従来の手法で計上可能である。一方、仮想水使用量については、WFPの項目に少し工夫が必要である。流域を単位とした統計資料はほとんどないため、実際の推計では原単位を用いるなどの方法が必要となる。集水域外水使用量には、疏水などによる直接的な使用量に加えて、貿易を通じたVWを含めることにより、隠れたインパクトまで含めることが可能となる。

一方、水質に与えるインパクトについても、

仮想水使用量に換算した。この際に参考にしたのは、EFPにおける fossil forest、つまりエネルギー消費量をCO₂排出量の吸収に必要な森林面積として換算する方法である。ここでは、水質汚染の状況を仮想的な水使用量に換算するための「汚濁希釈仮想水」と、水質改善のために投入される別の資源使用量を水量に換算した「汚濁浄化仮想水」の考え方をういた。

汚濁希釈仮想水は、「河川の水の状態を、人間活動の影響がないレベルにまで希釈するのに必要となる水」と定義される。対象とする流域で、最も下流にある水質測定点の測定結果をもとに、その量を推計した。どの汚染物質に着目するか、また自然の状態の濃度はどのくらいであるかによって異なるため、実際の運用は困難を伴うが、現時点では河川の代表的な汚濁指標であるBODを用いた。BODは、自然公園内の河川など人為的汚濁のない河川で1 mg/L以下であり、0.2~0.3 mg/L程度とされている。流域によって環境状態値は異なるが、人為的な影響のない地点の調査データは必ずしも各流域でそろっていないため、後述する推計では試みに1.0 mg/Lを基準とした。このとき、例えば下流の測定点での流量が3.0×10⁹ m³/年、BOD年間75%水質値が1.5 mg/Lの流域がある場合、必要となる汚濁希釈仮想水は1.5×10⁹ m³/年となる。

これに対して汚濁浄化仮想水は、「河川の水質改善のために消費された別の資源を水量に換算したもの」と定義される。水質改善のための重要な手段の一つとして、例えば下水道整備が進められているが、このことは同時に下水処理施設における電力使用量の増加を意味しており、水質の改善と電力使用量の消費抑制にはトレード・オフの関係が見られる。水資源に関する総合的環境指標として仮想集水域指標を構築する上では、水以外の資源についてトレード・オフの関係を表すことができるようにすることが重要であり、汚濁浄化仮想水は、汚濁希釈仮想水では測れないものを表すものと位置づけた。

以上の整理から、仮想水使用量は次のように表現される。

$$\begin{aligned} \text{仮想水使用量}(\text{m}^3/\text{年}) &= \text{集水域内水使用量}(\text{m}^3/\text{年}) \\ &+ \text{集水域外水使用量}(\text{m}^3/\text{年}) \\ &+ \text{汚濁希釈仮想水}(\text{m}^3/\text{年}) \\ &+ \text{汚濁浄化仮想水}(\text{m}^3/\text{年}) \quad (2) \end{aligned}$$

以上の枠組みを、実際の流域に当てはめた。

4. 研究成果

福島県内の阿武隈川の支流流域を中心に、いくつつか推計を行った。ここでは、広瀬川流域と安積疏水関連流域に適用した推計例を示す。

(1) 広瀬川流域の推計例

広瀬川は、阿武隈川の支流の中でも主要な河川であり、幹川流路延長では白石川(70km)、大滝根川(52km)、釈迦堂川(40km)に次ぐ長さ(39km)の一級河川である。阿武隈川の河口から約60kmの地点で阿武隈川に合流する右支川で、流域面積は約269km²である。幹川流路があるのは川俣町、旧月舘町、旧霊山町、旧梁川町の4町であり、かつては養蚕、生糸生産が盛んで、広瀬川を通じた物資の運搬や文化の形成が見られた。4つの自治体の総人口は約6万人で、流域内総生産額は、農業約130億円、製造品約430億円などとなっている。また、広瀬川の支流である小国川や伝樋川を含めて考えると、福島市と旧保原町の一部が流域に含まれる。

なお、広瀬川流域自治体においても、いわゆる「平成の大合併」の中で、市町村合併の動きがあった。旧月舘町、旧霊山町、旧梁川町、旧保原町は、旧伊達町とともに伊達郡5町で2006年1月1日に合併し伊達市となった。つまり、幹川流路のある自治体のうち、最上流域にある川俣町は合併からはずれる結果となった。この点を見ても、「流域」という概念は近年の社会状況の中で主要な地理的単位とはなっていないことが伺える。

広瀬川流域における水資源賦存量と仮想水使用量の総量と内訳をグラフにしたのが図2である。水資源賦存量156[M m³/年]に対し、仮想水使用量の合計は199[M m³/年]と推計され、仮想水使用量の方が約1.3倍多い結果となった。これは、広瀬川の集水域における利用可能な水資源量を全て使っても足りない量を使用していることを意味する。

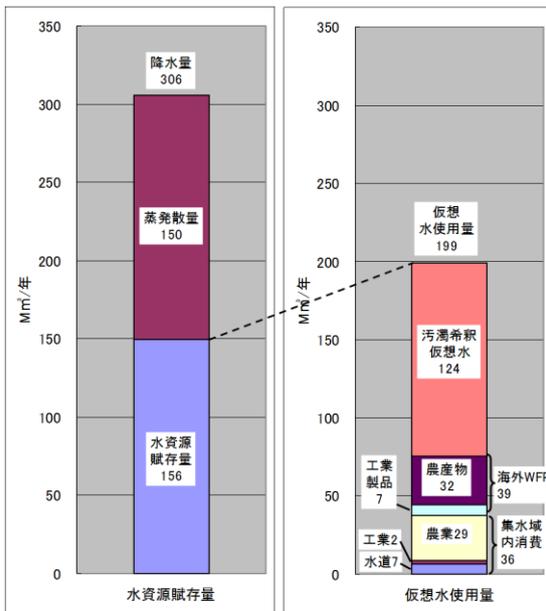


図2 広瀬川流域の水資源賦存量と仮想水使用量の比較

この仮想集水域をイメージとして表したの

が図3である。

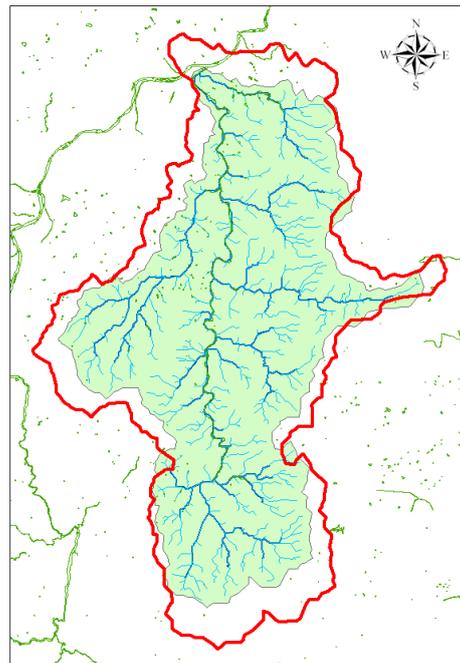


図3 広瀬川の仮想集水域のイメージ

集水域内の水使用量の合計は36[M m³/年]で、海外WFPの39[M m³/年]と同程度と見積もられた。これに対し、汚濁希釈仮想水は124[M m³/年]であり、仮想水使用量の約62%を占めていた。なお、この時点の推計では、汚濁浄化仮想水は含めていない。

(2) 安積疏水関連流域での推計例

安積疏水は、現在の郡山市を中心とする安積地方で行われた猪苗代湖疏水事業であり、1879年に着工され、1882年に完成した。1946～1949年には新安積疏水の工事が行われ、現在、郡山市・須賀川市(旧長沼町・旧岩瀬村を含む)・本宮市・猪苗代町・大玉村の3市1町1村で利用されており、灌漑面積は約1万haとなっている。安積疏水は、農業用水としてだけでなく、発電用水、水道用水、工業用水の多目的利用が図られている。このように、阿武隈川流域において、域外からの取水を行っている点で特徴的な流域である。

今回の推計を行うにあたり、疏水の幹線水路の敷設状況と受益範囲を考慮して、安積疏水関連流域を設定した。北側は五百川の集水域全域を含む範囲であり、南側は釈迦堂川の支川である江花川の流域までとした。東側は阿武隈川を境界とした。安積疏水の受益範囲ではない地域でも、集水域の範囲に含まれるところは、安積疏水関連流域に含めた。設定した安積疏水関連流域の面積は約62,767haである。

安積疏水関連流域における水資源賦存量と仮想水使用量の総量と内訳をグラフにし

たのが図4である。

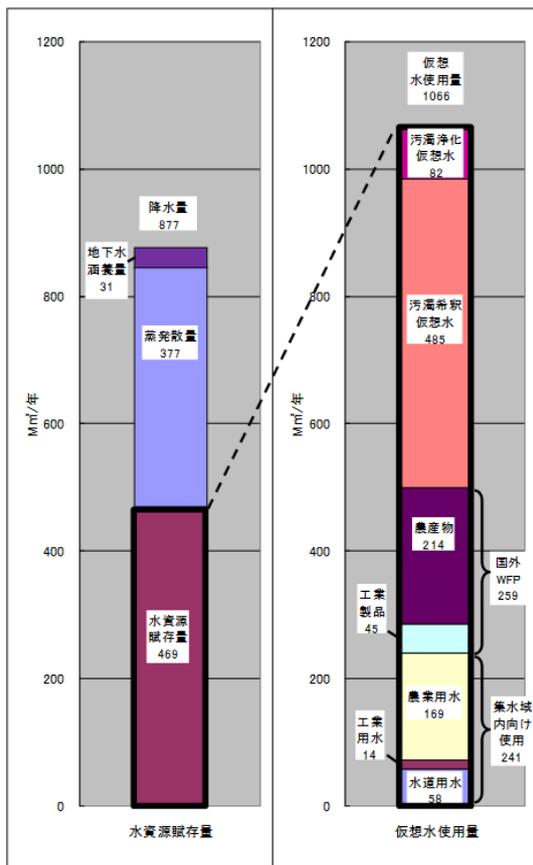


図4 安積疏水関連流域の水資源賦存量と仮想水使用量の比較

水資源賦存量 469[M m³/年]に対し、仮想水使用量の合計は 1066[M m³/年]と推計され、仮想水使用量の方が約 2.3 倍多い結果となった。集水域内水使用量と国外 WFP の合計で、水資源賦存量を上回っている。汚濁希釈仮想水は、広瀬川流域での推計に比べて少なめに見積もったが、それでも水資源賦存量とほぼ同じ水量になった。汚濁浄化仮想水は、汚濁希釈仮想水の約 1/6 の量となった。これらの結果から、安積疏水関連流域では、物理的な集水域における利用可能な水資源量の範囲では支えることのできない社会経済活動を行っている」と解釈できる。この仮想集水域をイメージとして表したのが図5である。

また、猪苗代湖から取水している量は、水道用水の 52%、農業用水の 47%に相当していること、米の消費量の観点からは、安積疏水によって流域内の人口とほぼ同じ人口を別の地域で支えるだけの稲作が可能となっていること、などの特徴が明らかとなった。

(3) 仮想集水域指標の特徴

以上の推計例のように、仮想集水域指標を用いることで、域外への依存状況や、逆に貢献の程度などを直感的に把握することがで

きた。仮想集水域指標は、流域の水資源利用に関する人々の認識を高めることに資する

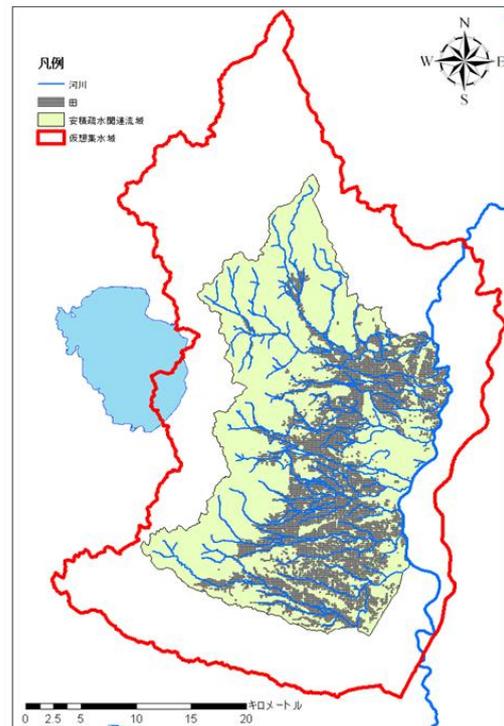


図5 安積疏水関連流域の仮想集水域のイメージ

ため、直感的で分かりやすく、環境負荷を減らすための行動意欲を喚起できるものとなる点を重視して考案した。そのため、科学的な厳密さや精度が犠牲になっている点は否めないが、人々への訴求力や環境コミュニケーション機能は大きいものと考えられる。

今後は、環境指標のもつ意義と限界について十分に留意しつつ、継続的に工夫や改善を重ねながら利用することで、流域の水資源管理に貢献していくことが望まれる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ①後藤忍, 福島県における物質フローに関する環境指標の改善状況, 福島大学地域創造, 23, pp. 35-46, 2011年, 査読有
- ②後藤忍, 安積疏水関連流域における仮想集水域指標による評価, 共生のシステム, 7, pp. 75-82, 2009年, 査読無
- ③後藤忍, 阿武隈川支流流域における仮想集水域指標による評価, 共生のシステム, 6, pp. 27-33, 2008年, 査読無

④後藤忍, 総合的環境指標の考え方, バルブ
技法, 23, No. 2, pp. 64-73, 2008年, 査読無

[学会発表] (計1件)

①後藤忍, ふくしまエコ探検隊の活動と環境
教育テキストの作成, 日本環境教育学会第21
回大会, p. 51, 2010年5月22日, 査読無

[図書] (計1件)

①福島大学自然共生・再生研究プロジェクト
阿武隈川流域の環境学, 273p, 福島民報社
, 2011年
(分担執筆, 後藤忍「流域の水資源管理のた
めの環境指標」 pp. 255-270)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

後藤 忍 (GOTO SHINOBU)
福島大学・共生システム理工学類・准教授
研究者番号: 70334000