

## 論文

# 農業農村整備事業による手取川流域の水環境の改善と自然資源の機能評価

早瀬 吉雄\*

## 要 旨

戦後、急増する人口の食料増産と農村の生活環境の改善が緊急課題であった。農業農村整備事業などによる水利環境の改善と集落排水施設整備が推進され、手取川扇状地の扇央・扇端部においても、水源河川に近い水質の用水が得られるようになり、出穂頃に行う追肥の窒素抑制栽培により、低蛋白の良食味米生産が可能となった。手取川流域の自然資源による恩恵を受益者数で示すと、コメは47万人分、水道水は96万人分で、流域人口21.4万人に比べて、多くを流域外の人々に与えている。現況の森林の炭素吸収量は、年間約50万人分の呼気排出量に相当して、流域人口の2.3倍である。

キーワード：農業農村整備事業／流域水環境／生態系／自然資源／受益者数評価

## I. はじめに

1965年以前の農村地帯では、昔からし尿を処理した下肥（久馬，2013，75-108）、れんげの緑肥を使い、土水路には水草が繁茂し魚が泳いでいた。1912年の唱歌「春の小川」の情景が至る所にあった。

日本の人口は、1945年7,200万人が1985年12,100万人と毎年100万人以上の増加が続き、食料増産、し尿・生活排水処理のため、浄化槽、集落排水処理施設、流域下水道事業が全国的に推進され、2014年度末には全国の汚水処理人口普及率は89.5%（農林水産省，2016）となった。

2014年に水循環基本法が制定された。同法では、流域全体の健全な水循環系の維持・回復を図るため、森林、河川、農地を連続した水循環の場として捉え、良好な水環境と生態系の保全・再生の取組みを進めることとした。特に、水に溶けた窒素は、植物が炭酸同化によって得たデンプンからタンパク質を合成するのに必要な物質である。適量の窒素は、農林業生産を支えるだけでなく、水路での水生植物、水生動物の生態系の形成と保全にも寄与している。

ここでは、手取川扇状地を対象に、農業農村整備事業、流域下水道整備による扇状地の水循環と水環境の変化を検討するとともに、流域全体で展開された「水土里」と林業の生産活動による自然

資源の恩恵を受益者数で評価する。

なお、本文は、2018年度農業農村工学会賞学術賞論文の内、手取川流域の上記課題に関係する部分を抽出して記述したものである。

## II. 手取川の水利事業による水利環境の改善

### 1. 手取川の水利事業の推進

1km<sup>2</sup>の水田面積に対する流域面積は、庄川の7.8km<sup>2</sup>、信濃川の10.7km<sup>2</sup>に対して、図1に示す手取川

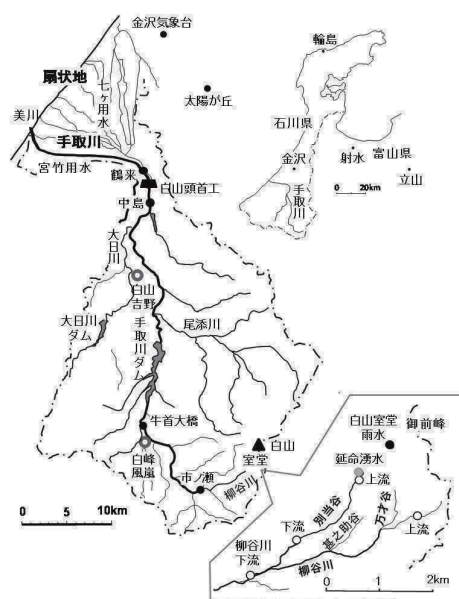


図1 手取川流域の概要

\* 石川県立大学 名誉教授

(流域面積 809km<sup>2</sup>、水田面積 150km<sup>2</sup>) は、5.4km<sup>2</sup>と少ない。手取川扇状地では、表土が浅い砂壤土、心土が砂礫層であるため、用水の浸透が激しく、毎年のように起きる用水不足を番水で対応した。手取川からの取水は、1903 年まで 8ヶ所、その後、1961 年まで左岸と右岸 1ヶ所ずつから行われていた。1962 年からは白山頭首工により合口取水が行われており、取水後に右岸と左岸に分水している。右岸の七ヶ用水と左岸の宮竹用水の面積が 3対1 に対して水利権比が 7対1 で、左岸側の水不足は深刻であった。1967 年大日川ダム（有効貯水量 2,390 万 m<sup>3</sup>）の完成などにより、取水量が代掻き期 70.0m<sup>3</sup>/s、灌漑期 43.0m<sup>3</sup>/s で、分水比が 3対1 になった。1954 年から用水路の全面改修、さらに、洪水調節、上工水、発電目的の手取川ダム（有効貯水量 1.9 億 m<sup>3</sup>）が建設され、1979 年から湛水・供用を始めた（石川県，1986，660-678）。

## 2. 水利環境の改善の検討

手取川の流量観測点は、白山頭首工の上流の中島（1968 年～）と下流の鶴来（1974 年～）であり、両者の差が頭首工と上水道の取水量となる。上流域の雨量観測は、白峰風嵐（標高 509m）地点で 1967 年から継続しているので、この年雨量を基に検討をする。手取川ダム建設以前では、大旱魃年の 1973 年（年雨量 2,418mm）は鶴来流量が欠測のため、2 番目の旱魃 1977 年（年雨量 2,663mm）における流況を図 2 に示す。同図から、白山の融

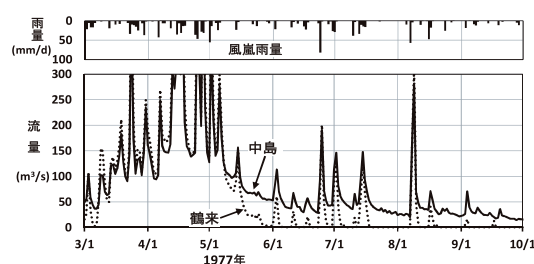


図 2 手取川ダムの建設前の 1977 年の流況

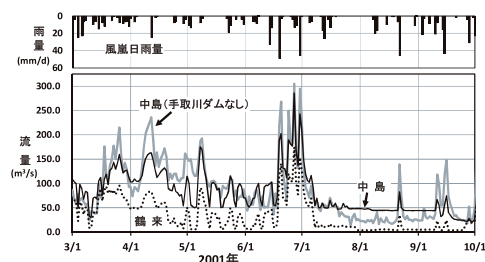


図 3 手取川ダムの建設後の 2001 年の流況

雪出水に合わせて取水するので、中島流量は 6 月から水利権量を割り、低水時には全量取水となった。手取川ダム建設後の 2001 年は、年雨量 1,656mm と、過去 47 年間で最少、50～70 年確率の少雨年で、図 3 に流況を示す。手取川ダムが建設されていない場合の中島流量は、手取川ダムの流入量に、ダム地点から中島地点の間で流入する流量（＝中島流量 - ダム放流量）を加えた値で、灰色線で示す。灰色線＞実線となる融雪期と洪水期間中にダム流域からの流出量がダムに貯留され、灰色線＜実線の渇水期間中にダムから放流される。点線の鶴来では流量が確保されたので、水不足は解消している。手取川ダムでは、後掲の図 8a のように、例年 1 月から 3 月中旬まで放流し、その後、豪雪域の白山山岳からの融雪水を満水位まで貯留する。既報（早瀬，2016a，25-28；2016b，27-30）での検討結果及び後述の III. 5. でも述べるように、白山麓から融雪初期に積雪中の窒素が集中的に流入してダム湖の窒素濃度を高めるが、その後のざらめ雪の融雪水によって希釈されるため、鶴来では、4 月以降、低濃度窒素の用水が得られる。このように、ダム建設によって、扇状地の利水安全度が向上し、扇状地の水田域には、良質の豊富な灌漑用水が供給される。

## Ⅲ. 手取川上中流域における窒素動態

### 1. 白山山頂域の降水窒素

図 1 に示す白山山頂での降水が高山植物の斜面を流れて渓流水になる間の窒素動態を検討する。2010 年夏季の白山室堂（2450m）での雨水の窒素分を図 4 に示す。同図では有機態窒素、NH<sub>4</sub>-N が 8、9 月に高い。

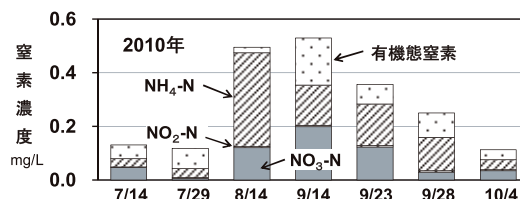


図 4 白山室堂における降水の窒素成分

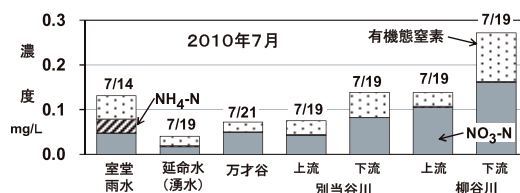


図 5 白山山頂にける渓流水の窒素成分

## 2. 高山帯渓流水の窒素動態

2010年7月の渓流水の窒素動態を図5に示す。雨水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ は土壌粒子に吸着されるため、湧水の延命水、万才谷や別当谷川、柳谷川の上流では、いずれも $\text{NH}_4\text{-N}$ はない。一方、溪流の下流側では、ダケカンパ群団からの窒素分が流入して溪流の濃度が増加している。

## 3. 手取川の白峰牛首地点の水質

ダム流入水質を、1981～2003年の白峰牛首における月1回の観測値（石川県企業局、1986～2004）より検討する。この間の平均値は、濁度16、全窒素0.29mg/L、全リン0.03mg/L、T-N/T-Pの重量比は34で、清流の状態にある。夏期の濁度が300位になる現象は、1983年、1986年、1993年、1997年に起こり、特に濁度の高い1983年を含む1982～1984年の水質を図6に示す。白峰嵐風では1983年7月に1週間で406mmの豪雨があり、山岳斜面の崩壊による濁水流出が起き、リンを吸着した土粒子流出によって、リン濃度は100倍に増え、有機態窒素も増えている。白峰村民、白山登山者（1973～1997年で3万人/年）のし尿処理排水、養蚕業排水によって、1981年から微量の $\text{NH}_4\text{-N}$ の流出があっ

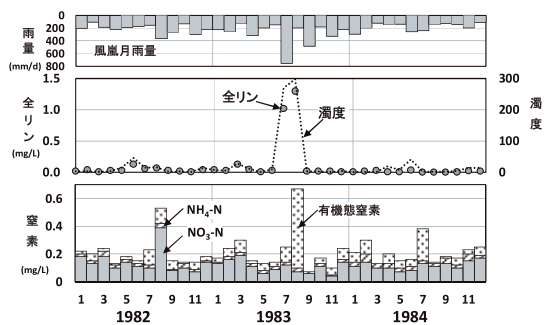


図6 1982～1984年の牛首大橋地点の水質

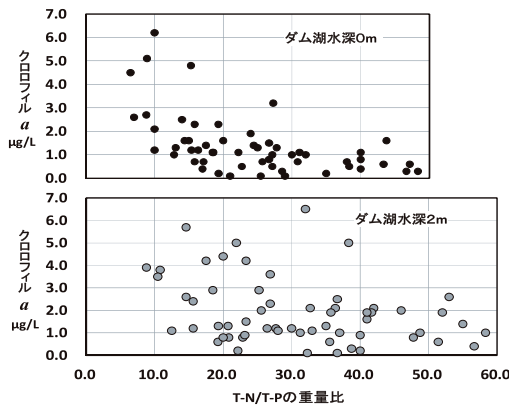


図7 ダム湖のT-N/T-Pとクロロフィルaの関係

たが、1988年に白峰下水処理センターが供用されて1991年以降は検出してない。

## 4. 手取川ダムの表層の窒素・リンとクロロフィルa

静水中の窒素、リン濃度とクロロフィルaの関係は、河川中の水生生物を考えるうえで重要である。石川県企業局（石川県手取川水道事務所、2005-2015）では、手取川ダム湖の定点水質調査を、3月～12月まで毎月1回行っている。2005年から2013年の間、ダム湖の水深0mと水深2m地点のT-N/T-Pの重量比とクロロフィルaの関係は、図7となる。水深0mでは、T-N/T-Pが10でクロロフィルa濃度が最大となり、水深2mでは、10～25で大きく上昇することが確認された。

## 5. 2013年7月豪雨による濁水のダム湖内の挙動

2013年のダム湖における流入量、放流量、貯

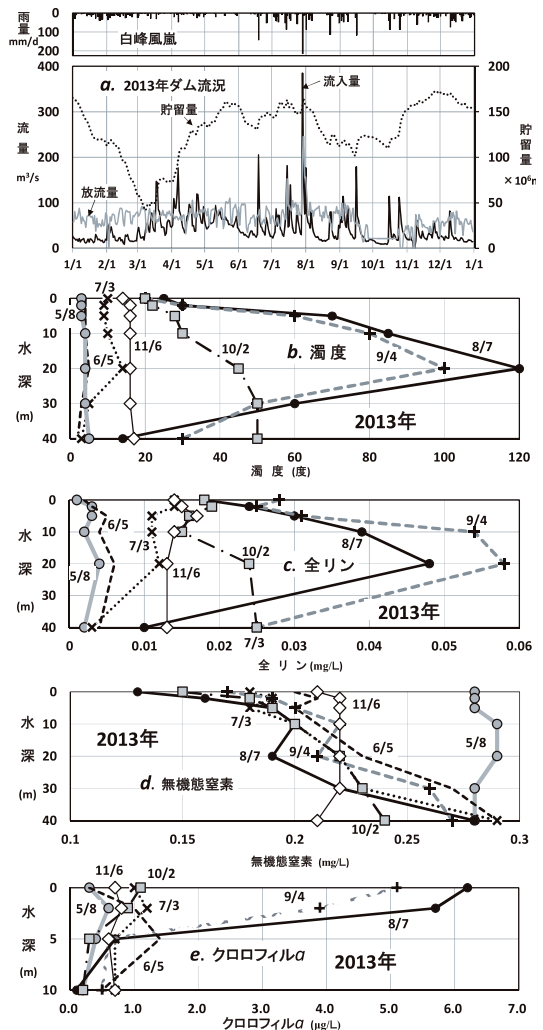


図8 2013年洪水の手取川ダム湖の状況



表1 ダム湖への流入水質（白峰牛首地点）

2013 年	濁度(度)	全窒素 (mg/L)	全リン (mg/L)
6 月 11 日	2.5	0.15	0.005
7 月 24 日	530	0.45	0.567
8 月 6 日	82.6	0.24	0.096
9 月 11 日	35.8	0.22	0.041
10 月 8 日	1.7	0.14	0.004

水量の変化は、図8のa図である。2013年7月22日から日本海に伸びる梅雨前線と大気不安定によって日本海側各地に豪雨が降った。7月22日から29日までの雨量と29日の日雨量は、甚之助（標高1443m）で490mm、332mm、白峰風嵐で292mm、215mmであった。ダム湖への流入水質である白峰牛首の値を表1に示す。図8には、ダム湖内の濁度をb図、全リンをc図、無機態窒素をd図、クロロフィルaをe図に、それぞれの月毎の垂直分布の推移変化を示す。同図から水深20m付近で濁度、全リン濃度が高いが、特に水深0m～2m間でクロロフィルaが増加している。d図は、ダム湖水の無機態窒素濃度の鉛直分布を示し、5月が最大濃度で、8月に向かって濃度が次第に低下している。3月以降、白山麓の融雪初期では積雪中の窒素などの大気汚染物質が集中的に流入して、湖水の濃度が急上昇するが、その後の気温上昇に伴って白山麓のざらめ雪から低濃度融雪水が多量に流入して希釈され、夏に向かって水深30m以浅では大きく低下している（早瀬，2016a, 25-28）。7月豪雨の濁水がダム湖の中層に流入し、表層付近では、窒素と多量のリンによって植物プランクトンが増えるので、魚類には格好の避難水域となる。集中豪雨時の濁度の上昇は、今後も続く白山の斜面崩壊による微細土壌の流入が原因であり、この土壌の水田流入は、1962年に計画認証、1967年に中断した「おいでかんがい」（砂礫質土壌に粘土質の泥水を流す流水客土）と同様の効果がある。

#### 6. 鶴来における無機態窒素の季節変動

手取川水道事務（石川県手取川水道事務所，2009）による毎日水質調査から少雪年の2009年の無機態窒素濃度、風嵐地点の雨量、積雪深、中島基準点流量を図9に示す。手取川全域の夏期までの窒素変動は既報（早瀬，2016a, 25-28）で検討した。積雪の融雪最初には高濃度の窒素水が集中的に流出して2月末にピークとなる。その後、低濃度のざらめ雪の雪解け域が山裾、山腹、山頂

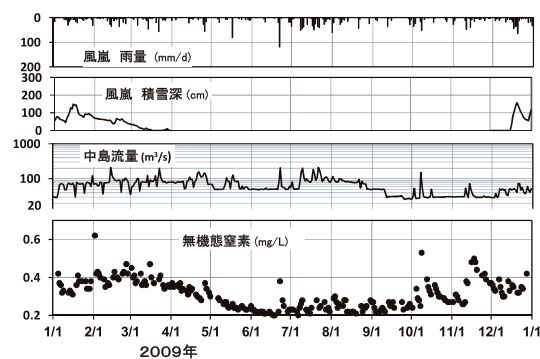


図9 2009年における鶴来地点の無機態窒素の推移

へと移動し、6月末まで濃度が低下する。融雪水で土壌窒素が溶脱された消雪斜面では、樹木による養分吸収が活発になるため、出水に伴う窒素流出があっても変動への影響は大きくない。晩秋からは、北陸特有の雷雨、長雨によって河川流量は増え、土壌窒素が掃流され、河水濃度は、高い状態で推移する。

#### 7. 手取川の流下に伴う全窒素の空間的な変動

多地点の時系列な採水・分析は、不可能であるので、季節毎に多地点の採水・分析を試みた。大日川ダム流域以外の全域を晴天の続いた2009年6月4日、8月20日に採水した。全窒素を図10に示す。両日の流況は、同図に示す手取川ダム流入量で比べると、ほぼ同じである。手取川ダム湖は、同図に表示の日の値である。大日川ダム流域は、同年6月10日、8月10日に採水したが、8月10日の値は、7～8日の降雨（白山吉野70mm）の影響を受けて若干高い。同図より、山岳上流から流下するにつれて、各支川の森林域から流出した窒素が流入して、手取川の河水の全窒素濃度が少しずつ増える。図9、10から6～8月の手取川上中流域河川の窒素濃度が晴天時に低いことは、盛夏にかけて森林の養分吸収の高まりを示す。また、図9の鶴来で低濃度であることは、上中流域河川全体が低濃度であるといえる。

#### Ⅳ. 手取扇状地の水路・水田における窒素動態

##### 1. 扇状地・七ヶ用水路の水質

七ヶ用水受益地には、鶴来の白山頭首工から3月20日～9月30日までは30m³/s、代掻き期は42.6m³/s、9月11日～翌3月19日までは13.9m³/sが流入する。図11に示す七ヶ用水路の各支線水路の番号地点で採水した。2008年2～11月までの窒素成分を図12に示す。例年、白山頭首工の元入れの水は、図9と同様の濃度推移を示す。

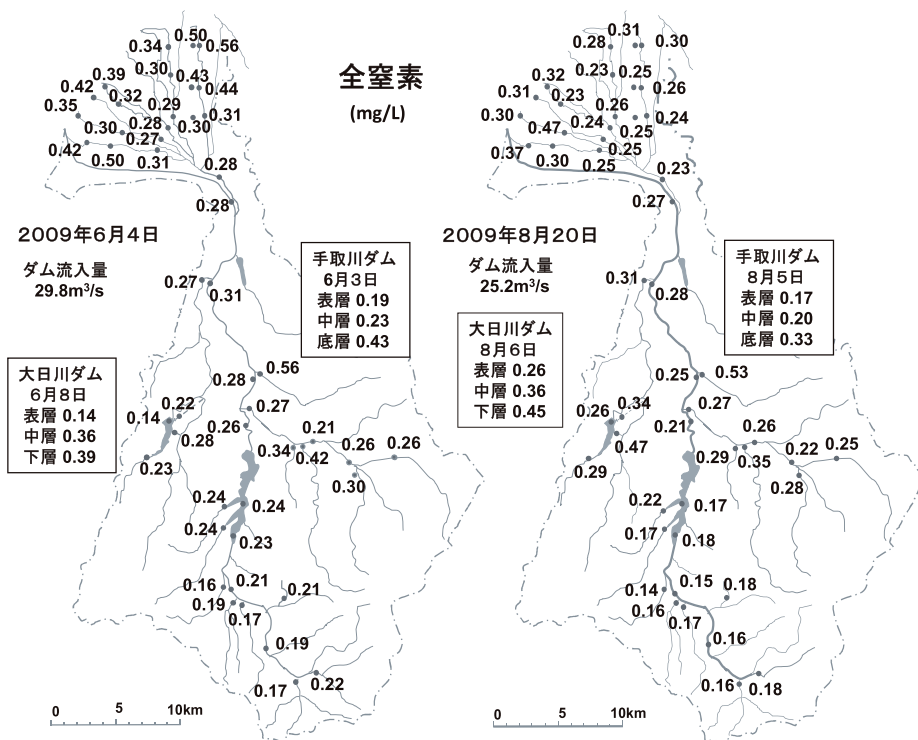


図10 2009年の手取川流域における河川の全窒素 (mg/L)

各用水路とも2～4月中旬まで濃度が高く、6～8月は濃度が低い。6、7月は、扇状地の各用水とも水稻の生長に伴って有機態窒素量が増え、稲の代謝が活発であることを示す。集落排水施設の処理水が流入する新砂川、大慶寺用水では、その排水地点で採水すると濃度が異常に高いが、下流側では希釈されて低下する。集落排水施設の少ない山島用水路では、上下流の濃度変化が小さい。野々市市を流れる郷用水の下流域には市街地が広がり、下流ほど高くなる。11月の中流地点の市内

で高濃度排水の流入があったが、下流では希釈されている。

## 2. 水田の鉛直浸透水の窒素動態

図11 中に示す大学水田 (31.5a) は、地下1m



図11 七ヶ用水受益地の水路系

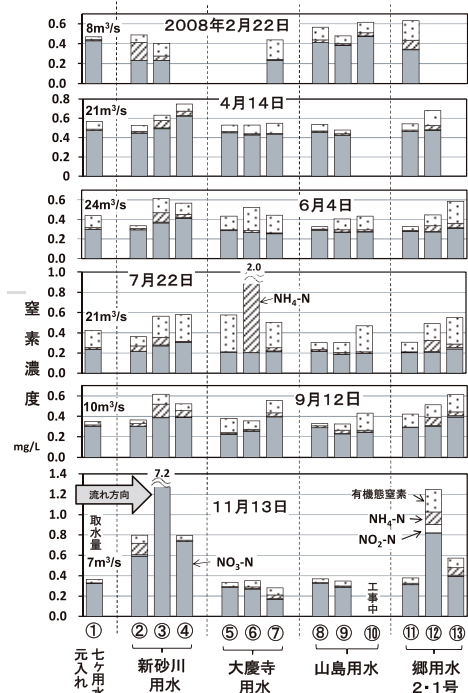


図12 2008年の七ヶ用水路における窒素濃度

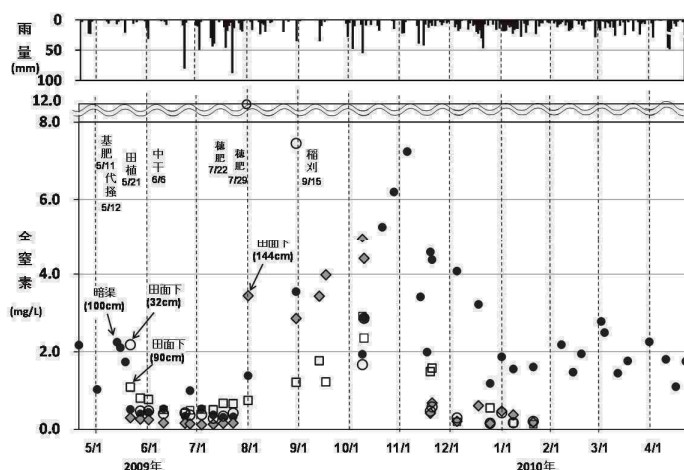


図 13 2009 年の大学水田の鉛直浸透水の全窒素濃度の推移

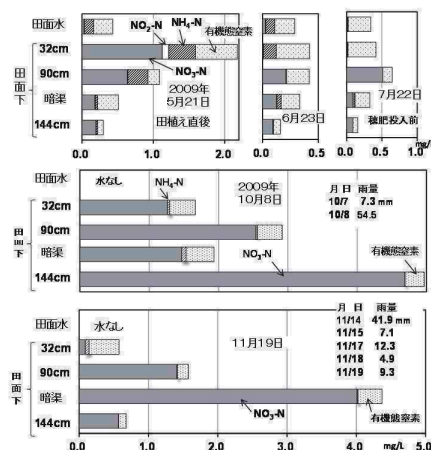


図 14 大学水田における浸透水の窒素動態

～20m が砂礫層である。2009 年 3 月、田面下 1m に長さ 26m の暗渠管を埋設して鉛直浸透水を採水し、田面下 32cm, 90cm, 144cm にポラスカップを埋設して土壤水を吸引できるようにし、4 月 20 日から観測を始めた。2010 年 4 月 20 日までの全窒素 T-N の推移を図-13 に示す。基肥 (30kg/10a, N, P, K の重量 % : 10, 25, 16)、穂肥 (20kg/10a, N, P, K の重量 % : 15, 5, 10) の施肥など、農作業と日付は同図中に記入した。田植えの 5 月 21 日から穂肥投入前の 7 月 22 日まで T-N は、田面下 32cm 地点で  $2.20 \rightarrow 0.43\text{mg/L}$ 、90cm 地点で  $1.10 \rightarrow 0.42\text{mg/L}$ 、144cm 地点で  $0.30 \rightarrow 0.12\text{mg/L}$  の間で推移し、黒丸印の暗渠水の T-N は  $0.51 \rightarrow 0.99 \rightarrow 0.32\text{mg/L}$  であった。この間、田面から降下浸透による窒素動態の変化を図 14 に示す。同図の上図では、田植え直後、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$  が地中深く浸透し、田面直下で有機態窒素が激増している。32cm 地点は、無機態窒素が 6 月になると稲に吸収されて大きく減少、7 月には有機態窒素だけになる。90cm 地点では、中干し以降、上層で無機化された  $\text{NO}_3\text{-N}$  が浸透し、7 月には 32cm 地点より増加している。暗渠に流出した水は、90cm 地点より小さい。暗渠水に流出する  $\text{NH}_4\text{-N}$  は  $0.02\text{mg/L}$  と少ない。144cm 地点では各窒素成分とも上層より少ない。

このように湛水期間中、地下への浸透水は  $0.5\text{mg/L}$  で降水の窒素濃度並みである。中干し後の間断灌漑によって、亀裂が連結して水道が暗渠に繋がる。7 月 29 日の穂肥により 7 月 31 日には、32cm 地点で  $12\text{mg/L}$  を超える。図 14 の中図、下図は、大雨後の様子を示す。11 月 14 日から秋雨によって、19 日の暗渠水は T-N  $4.4\text{mg/L}$  と

高濃度になる。

非灌漑期 (9 月 15 日～翌 3 月 31 日) の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の地下浸透量を求める。この間の降水量  $1,363\text{mm}$  からペンマン式より求めた蒸発量を引くと、地下浸透量は  $1,138\text{mm}$  となる。図-1 の金沢太陽が丘の降水重みの平均濃度は、 $\text{NO}_3\text{-N}$   $0.29\text{mg/L}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$   $0.28\text{mg/L}$  である。暗渠水の採水 24 回の平均濃度は、 $\text{NO}_3\text{-N}$   $2.69\text{mg/L}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$   $0.02\text{mg/L}$  である。水田土壌層から地下水帯への流出窒素量  $3.06\text{kg/10a}$  から降水流入窒素量  $0.78\text{kg/10a}$  を引いた  $2.28\text{kg/10a}$  は、非灌漑期に水田の土壌窒素から地下水帯へ流出する値となる。2010、2011 年も観測を継続したが、2009 年と同様の状況が繰り返され、暗渠流出水の濃度は、翌年 4 月になると前年の値に戻ることが確認できた。

## V. 窒素濃度で見ると手取川流域の良好な水環境

### 1. 灌漑用水の窒素濃度

利根川上流域の前橋地点では、常に全窒素濃度  $1\text{mg/L}$  を超え、利根大堰では夏季で  $2\text{mg/L}$  以上、冬季には  $3\text{mg/L}$  を越える (早瀬, 2018, 29-32)。一方、手取川流域は、図 10 のとおり、鶴来地点では  $0.5\text{mg/L}$  以下であり、農業用水基準の T-N  $1.0\text{mg/L}$  以下に合致している。低蛋白の良食味米生産 (田中, 2004, 149-189) には、登熟期に窒素抑制をするため、低窒素濃度の灌漑用水が必要であり、手取川の河水は最適である。

### 2. 扇状地地下水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度

扇状地の地下水は、灌漑用水と降水の水田による地下水涵養、手取川からの伏流水によって保全されている。2009 年 11 月に採水分析した扇状地



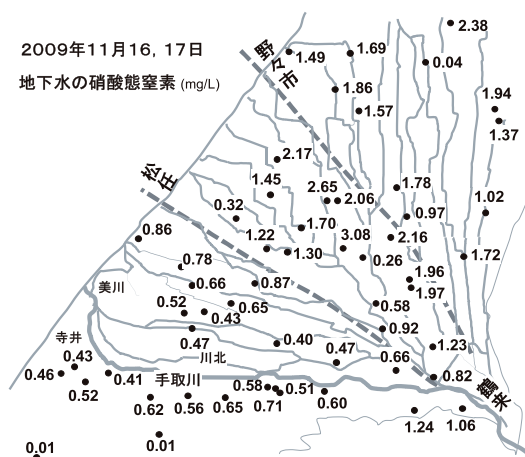


図 15 扇状地の地下水の NO<sub>3</sub>-N

地下水の NO<sub>3</sub>-N を図 15 に示す。旧松任市街地を中心に NO<sub>3</sub>-N の高い所があり、その南北の両側で低い。扇頂の鶴来から野々市市と松任南に線引きをすると、鶴来～野々市市ライン右側では、扇頂、扇央部で 2.0mg/L 以下であるが、左側の松任では 2.0mg/L を超えている箇所がある。鶴来～松任ラインより手取川に近い川北、美川、寺井では、手取川からの伏流水が地下に浸入して数値が低くなっている。水道水の水質基準は、10mg/L 以下であるので、図 15 に示すどの地点も合格である。後述のⅦ.1 に示すように、扇端部の粟生、美川ではトミヨの生息地（早瀬・瀧本，2016，21-24）がある。

### 3. 森林域の健全性

#### (1) 手取川流域における降水の平均窒素濃度降

降水中の無機態窒素を対象にする。降水中の NH<sub>4</sub>-N は、殆どが土壤に吸着され、植物を経て、NO<sub>3</sub>-N となって流出する。石川県の酸性雨観測所は、金沢市太陽が丘のみで、白山麓での標高と窒素濃度の関係は不明である。富山県環境科学センターの観測資料（富山県環境科学センター，2012，33-34）から、立山（1180m）と射水（20m）における 2003 年～2011 年まで、無機態窒素の月間降水濃度と月間降水負荷量を整理（早瀬・瀧本，2013，285-294）した。8 年間の雨量重み月平均値から求めた標高～濃度回帰式を、手取川流域の高度分布に適用して流域平均窒素濃度を求めると、0.40mg/L となる。

#### (2) 森林の窒素吸収量

森林の窒素吸収量計算には、年間の流域面積雨量が必要であるが、降水観測地点が乏しく冬季欠

表 2 手取川流域の NO<sub>3</sub>-N 年収支（kg/ha/年）

中島・鶴来地点	流出観測値		立山回帰式 平均濃度 0.40mg/L	
	流出高 mm	NO <sub>3</sub> -N 負荷量	降水 沈着量	流域窒素 固定量
2006 年	4004	14.6	18.6	4.0
2007 年	2647	9.7	13.2	3.5
2008 年	2575	9.4	12.9	3.5
2009 年	2818	8.8	13.9	5.1

測のため、中島基準点の流出高に流域蒸発の年推定量 650mm を加えた値を流域年雨量とし、これに前項（1）の平均窒素濃度をかけて年降水窒素負荷量を求めた。手取川上中流域における 2006～09 年の NO<sub>3</sub>-N の年間収支量は、表 2 となった。降水負荷量と流出負荷量の差である流域固定量、つまり森林流域の NO<sub>3</sub>-N 吸収量は、3.5～5.1kg/ha/y となった。滋賀県の森林、若女、染ヶ谷、竜王山の窒素吸収量（提，1987，55）は、それぞれ 3.4、3.4、5.1kg/ha/y である。手取川では、中島の流出高つまり降水量が多いため、滋賀の試験地に比べて窒素循環量が多いが、流域固定量はほぼ同じ値である。手取川の森林域は、窒素制限下にある。

## Ⅵ. 農業農村整備事業による水環境の変化

### 1. 灌漑排水事業と農業集落排水事業の実施

耕地の水利整備と圃場整備の前提として、1951 年から灌漑排水事業（石川県，1986，660-678）が始まり、扇状地上流部の幹線水路の改修が行われ、1981 年までに中下流域の用排水路を全面改修した。曲がりくねった土水路を、例えば底幅 1.8m、上幅 3.8m のコンクリートブロック空石積とした。手取川扇状地の農業集落排水施設（図 16、17 の下図の浄化センター、集落排水処理場）は、1986 年～1996 年までに 24 施設が供用され、白山市下水道施設は、1978 年に 1 ヶ所、1985 年～2003 年に 11 ヶ所がすべて稼働した。

### 2. 事業実施による扇状地の水環境の変化

手取川ダム建設前、集落排水施設整備前として、白山頭首工の取水流況を示した図 2 の 1977 年を対象にする。石川県衛生公害研究所（矢鋪他，1978，70-89）が 5、6、7、9 月に測定した各用排水路の全窒素の平均値を図 16 の上図に、全リンの値がないのでリン酸態リンの平均値を図 17 の上図に示す。一方、整備後として 2008 年 4、6、7、9、11 月、2009 年 6、8 月の全窒素の平均値を図

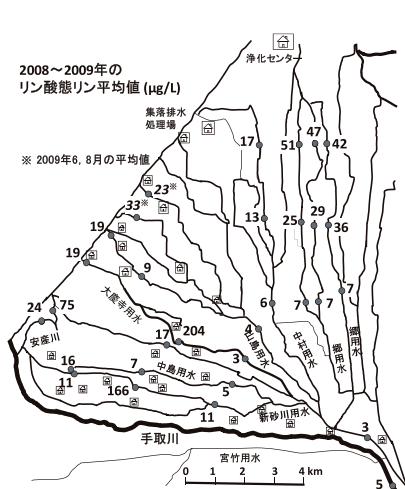
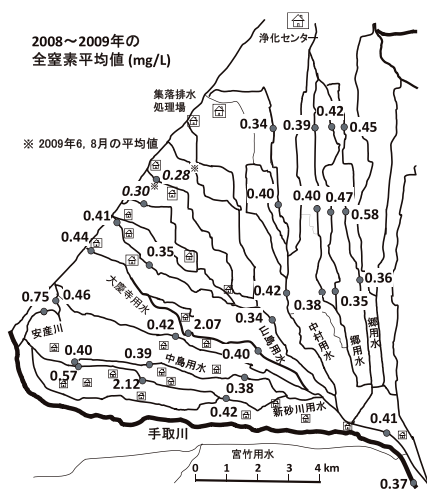
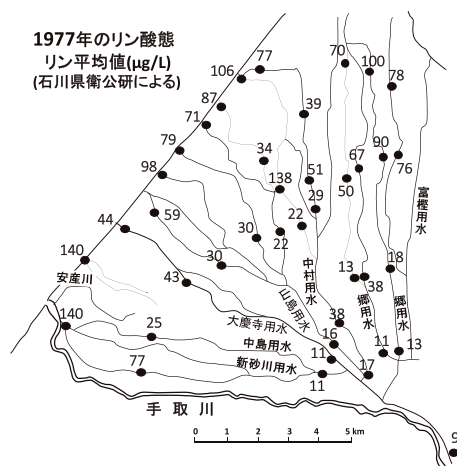
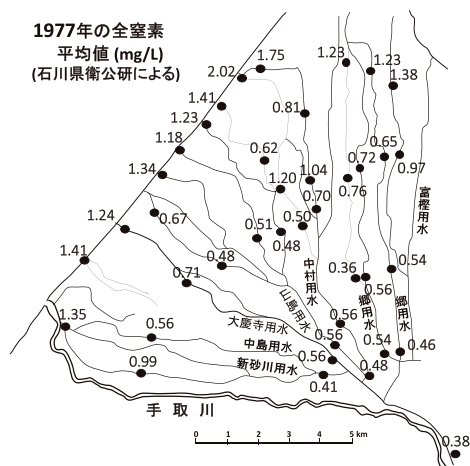


図 16 1977 年及び 2008,2009 年の用排水路の  
全窒素平均値

図 17 1977 年及び 2008,2009 年の用排水路の  
リン酸態リン平均値

16 の下図、リン酸態リンを図 17 の下図に示す。全窒素について事業前と事業後の比較をすると、元入れ用水の値は変わらないが、扇央部で 0.7mg/L が 0.4mg/L になり、扇端部の 1.4mg/L が 0.5mg/L に改善された。安産川では地下水が湧出しているため、0.75mg/L と高い。特に、全窒素の成分であるアンモニア態窒素は、扇央部で 0.24mg/L が 0.02mg/L 以下になり、扇端部の 0.4mg/L が 0.03mg/L 以下である。リン酸態リン値についても事業前と事業後の比較をすると、元入れ用水が 9 µg/L が 5 µg/L に、扇央部でも小さくなり、扇端部の 70 µg/L 以上の所が 50 µg/L 以下に改善された。これらより、図 16、17 の全窒素及びリン酸態リンの低下は、手取川ダム建設による取水量の安定化と白峰下水処理センター、扇状地の集落排水施設整備の成果であり、扇状地の生活排水負荷ポテンシャル 1977 年約 425ton/年から 2009 年約 95ton/年に減少している(丸山他, 2012, 109-117) ことを反映している。

### 3. T-N/T-P と水生生物

1977 年頃は、水路改修が半ばで集落排水が未整備なため、扇端部の土水路では、窒素、リンの濃度が高く、水草が繁茂して、種々の魚が泳いでいた。2008 年頃、元入れの T-N/T-P は、58 であるが、図 16,17 の下図のように用排水路を流下するにつれて窒素、リンの濃度が増え、扇頂部で 30～40、扇央部で 20～30、扇端部で 10～20 となる。Ⅲ.4. のダム湖における T-N/T-P とクロロフィル a との関係から、植物プランクトンの推定量は、扇端部>扇央部>扇頂部の順となり、コンクリート水路ではあるが、扇央部から下流側に水草が生え、魚も確認(手取川七ヶ用水土地改良区, 2000) できる。図 16、17 から安産川周辺以外に、窒素濃度の急上昇域がないことから、手取川の右岸扇状地では、安産川周辺以外に地下水の自噴域はなく、地下水は、沿岸浅海域の海底で湧出していると思われる。



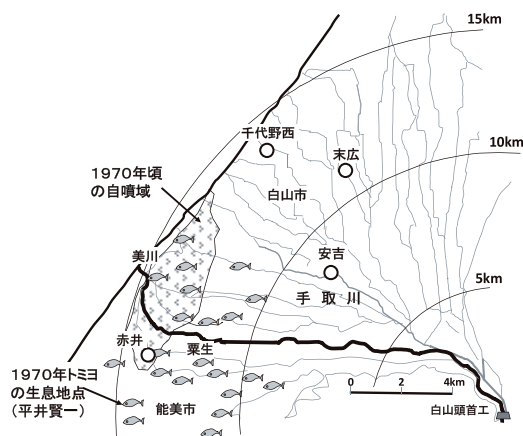


図 18 手取川扇状地の地形と自噴域

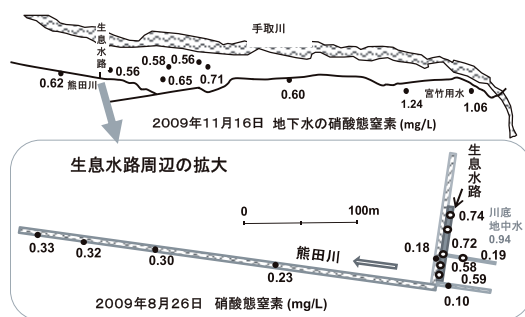


図 19 トミヨ生息水路周辺の NO<sub>3</sub>-N 濃度

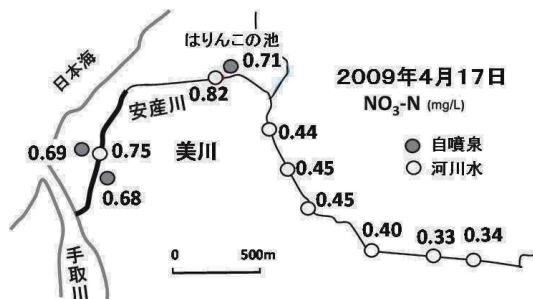


図 20 手取川扇状地美川安産川の NO<sub>3</sub>-N

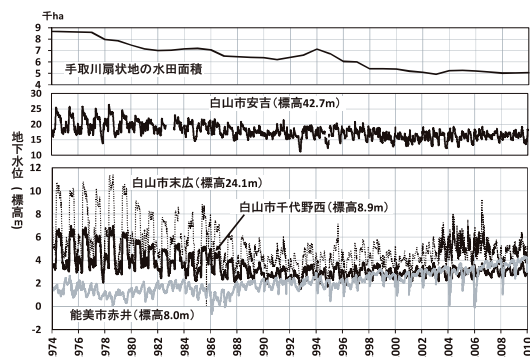


図 21 手取川扇状地美川安産川の NO<sub>3</sub>-N

## Ⅶ. 扇状地扇端域の水環境とトミヨ生息地

### 1. 手取川左岸宮竹用水の取水量増加

Ⅱ. で示したように、手取川扇状地の取水量は、

1903 年宮竹用水 9.7m<sup>3</sup>/s、七ヶ用水 57.2m<sup>3</sup>/s であったが、白山堰堤で両用水の合口、大日川ダム計画などで、1962 年宮竹用水 14.5m<sup>3</sup>/s、七ヶ用水 41.1m<sup>3</sup>/s に変更になった。これによって、左岸地区の取水量が増え、地下水湧出量が増えたため、図 18 に示すように、トミヨは、1970 年頃には、手取川扇端部河口の広範囲（平井，1992，263-272）に生息するようになった。その後、都市化の影響を受け、用水路の老朽化と雨水排水による改修事業によって、1990 年ではトミヨ生息域が粟生、美川に狭められた（平井，1992，263-272）という。手取川下流部左岸の粟生には、図 19 に示すように下流水田の水源地である地下水集水渠には、トミヨの生息水路があり、熊田川に流出している。湧水の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 濃度は手取川の灌漑用水より高く、生息水路には梅花藻、セリ、小エビ類、トミヨの生態系ピラミッドが形成されている（早瀬，2014，7-10）。図 20 に示す美川の安産川では、トミヨを養殖する「はりんこの池」付近から下流側で、ナガエミクリの水生植物が繁茂し、NO<sub>3</sub>-N の高い地下水が川底で湧き出ている。

### 2. 手取川扇状地扇端部の地下水位

1974 年から 2009 年までの扇状地の水田面積と図 18 に示す白山市安吉、末広、千代野西と能美市赤井における地下水位（石川県・金沢市・七尾市，1976-2010）を図 21 に示す。水田面積の減少とともに末広、千代野西の水位が低下したが、1990 年以降、千代野西では地下水が安定化し、赤井では上昇・安定している。現在では、粟生の熊田川ではトミヨの生態系保護区の設置が進められている。

## Ⅷ. 手取川流域における自然資源評価

白山市、野々市市、能美市、川北町の 4 市町村を手取川流域とすると、人口は 2010 年で 21.4 万人である。石川県統計書（石川県，1975-2010）では、2005 年市町村合併以降、旧町村毎の集計を出さなくなったため、扇状地の 2008 年の水田面積は、流域の水田面積から扇状地外の上流水田 456ha を除いた 5,487ha とした。

流域の受益者の特定は難しいが、現況での自然資源受益者の数は、流域の自然資源と「人との関わり」の規模で示す。手取川流域の人口を超過した分の資源利用量は、流域外への移出量であり、流域の大体の役割が推測できる。次節の項目毎に

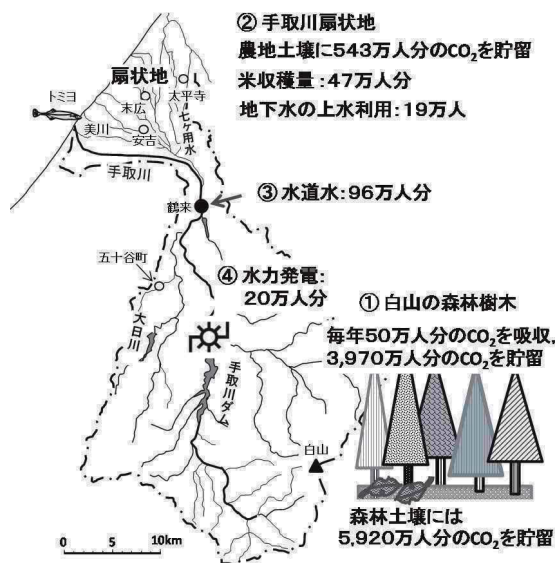


図 22 手取川流域の自然資源量の試算結果  
(石川県統計書等の資料をもとに著者作成)

求めた受益者数は、現況の資源利用のものであり、コーエン（コーエン，1998）のいう維持可能な最大人口を示すものではない。県・市統計資料等から著者が試算した自然資源量結果を、図-22に示す。

### 1. 水循環に関わる項目

豪雪多雨の白山山麓からの流出水は、手取川ダム等によって流況が安定化し、水力発電、扇状地の農業用水、扇状地の地下水として利用されている。

#### (1) 米の生産量

米の減反・耕作放棄、混住化等によって、図-21に示したように扇状地の水田面積は減少し、2008年では、5,487ha、玄米収穫量 30,660ton（石川県，1975-2010）である。2003年の1人/年の米消費量は 59.5kg（農林水産省）で、精米ロスを10%とすると、扇状地の水田は、46.8万人分の米を賄っている。

#### (2) 上水道水源

手取川から取水した鶴来浄水場の給水（石川県企業局，2010，22）は、南は加賀市、北は能登島まで、約 96 万人分である。2010年の平均取水量は約 2m<sup>3</sup>/s で、手取川の流量基準点中島の湧水量 28m<sup>3</sup>/s に比べ少ない。

#### (3) 地下水利用

扇状地内の地下水揚水量（石川県・金沢市・七尾市，1976-2010）は、2008年度が 8,829 万m<sup>3</sup>で、

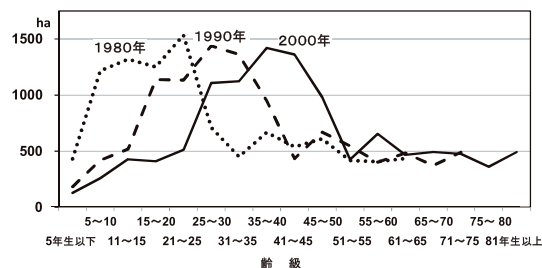


図 23 人工林の齢級別樹林地面積

うち工業用 55.2%、水道用 35.8%、消雪用 4.7%、農業用 2.1% である。上水道と簡易水道の水源としての利用者は、19 万人であるが、企業局上水道である手取川の水と混ぜて使用している。

## 2. 炭素削減に関わる項目

手取川流域における森林域の炭素吸収量と炭素貯留量、扇状地土壌の炭素貯留量を、人間一人当たりの CO<sub>2</sub> 排出量との比較から、CO<sub>2</sub> オフセットの受益者数を求める。水循環の豊かな水量による水力発電は、火力発電の代替と見なせるので炭素削減量が評価できる。

### (1) 流域の炭素の吸収量と貯留量

#### 1) 森林域の年間炭素吸収量

10 年ごとの林業センサス調査（農林統計協会，1981；1991；2001）より検討する。2000 年の手取川流域の森林面積は、60,774ha、人工林 18%、天然林 82% である。1980、1990、2000 年の人工林の齢級別樹林地面積を図 23 に示す。杉の年成長量の大きいのは、林齢 20～40 年で、この林齢の樹林地面積の大きい 2000 年が成長量も大きい。同図で 10 年生以下の面積は少なく、新たに植林されていない。樹木の炭素量は、材積×容積密度×拡大係数×（1＋地下部・地上部の比）×炭素

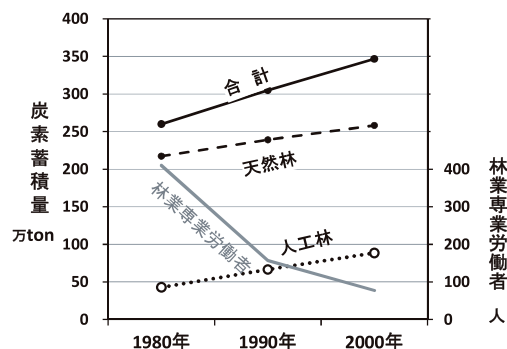


図 24 手取川流域の森林の炭素蓄積量

含有率（森林総合研究所）で求められ、樹齢によって変化する。拡大係数は幹に枝葉を加えた地上部の重量比、容積密度は材積に対する乾重量の比、炭素含有率は木材に含まれている炭素率で、これら係数値は一覧表（森林総合研究所；温室効果ガスインベントリオフィス，2009，4-25）に示されている。人工林・天然林の樹種別樹林地面積、齢級別樹林地面積及び林分収穫表の齢級別材積量及び計算に必要な係数値（森林総合研究所）を用いて樹種・齢級区分ごとの炭素蓄積量を算出して、合計する。人工林、天然林、それら合計の炭素蓄積量値を図24に示す。1980～2000年の間の年平均炭素増加量は、4.33万tonで、CO<sub>2</sub>換算で15.9万tonとなり、これが現況森林域のオフセット量である。この値を、人間の呼気として排出する炭素量320kg-CO<sub>2</sub>/人・年（以下、“呼気排出量”とする）（林野庁近畿中国森林管理局）で割ると、49.7万人分となる。つまり、現況の森林域によるCO<sub>2</sub>オフセットの受益者数は約50万人で、流域人口の2.3倍である。

## 2) 森林域の樹木と土壌層の炭素蓄積量

長年にかけて森林樹木の幹・枝・根に蓄えられた炭素量から換算したCO<sub>2</sub>量は、2000年時点で1,272万tonとなる。この値は、呼気排出量で割って求まる3,975万人の1年間の呼気量に相当する。山地森林域の土壌層には、落葉落枝の堆積・腐朽した有機物があるので、森林土壌の炭素蓄積量は、全国森林土壌の有機物量値84.95 ton-C/ha（温室効果ガスインベントリオフィス，2009，4-25）に森林面積を掛けて516万ton、CO<sub>2</sub>換算は1,895万tonとなる。この値は、呼気排出量で割って求まる5,920万人の1年間の呼気量に相当する。

## 3) 扇状地の炭素蓄積量

2000年農業センサス（農林水産省，2000）から扇状地の農用地6,606haの地目ごとの面積に、1ha当たりの土壌炭素蓄積量（温室効果ガスインベントリオフィス，2009，4-25）を掛けて農用地土壌中の炭素蓄積量を求め、CO<sub>2</sub>量に換算すると174万tonとなる。この値は、呼気排出量で割って求まる543万人の1年間の呼気量に相当する。農用地のCO<sub>2</sub>量174万tonを、扇状地米の受益者46.8万人に呼気排出量を掛けた値15万ton-CO<sub>2</sub>/年で割ると、米受益者の11.6年分が扇状地の農用地にストックされていることになる。

## (2) 水力エネルギー

手取川流域には、大日川、扇状地の七ヶ用水に計16ヶ所の発電所があり、2008年度の発電量は14.7億kWhである。石川県一人当たり7,190kWh/年（矢野恒太郎記念会，2006）の電力を使うので、受益者数は、20.5万人となる。水力発電（中央研究所，2010，486）による炭素排出量は11g-CO<sub>2</sub>/kwhであるので、石油火力発電（中央研究所，2010，486）の738g-CO<sub>2</sub>/kwhに比べ、1人当たり5.2ton-CO<sub>2</sub>/年を削減している。

## Ⅸ. あとがき

戦後の食料増産と農村の生活環境の改善を図るため、手取川・庄川扇状地で農業農村整備事業が実施された。その結果、手取川扇状地では、扇端部の用水路では全窒素が1.4mg/Lから0.5mg/Lに、リン酸態リンが70μg/Lから40μg/Lに改善した。手取川の扇状地では、水源河川に近い水質の用水が得られ、出穂頃に行う追肥の窒素抑制栽培により、低蛋白の良食味米生産が可能（田中，2004，149-189）となった。今日では、1965年頃の流域水環境と様変わりし、生態系の生息域にも変化が見られる。扇状地の生態系の保全には、流域水環境の変化に対応した方策が望まれる。

## 引用文献

- 久馬一剛. 2013. 農業における下肥(ナイトソイル)の利用. 肥料科学. 35.
- 農林水産省. 2016. 平成26年度末の污水处理人口普及状.  
<http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/seibi/150910.html> (参照:2016年5月7日)
- 石川県. 1986. 手取川扇状地の水争い. 石川県土地改良史.
- 早瀬吉雄. 2016a. 手取川流域の融雪水による河水窒素濃度の逡減. 水土の知. 84 (4).
- 早瀬吉雄. 2016b. 窒素循環から見た手取川流域の水循環の健全性について. 水土の知. 84 (8).
- 石川県企業局. 1986-2004. 水質試験年報. 2-16集.
- 石川県手取川水道事務所. 2005-2015. 水質試験年報. 17-26集.
- 石川県手取川水道事務所. 2009. 毎日水質検査結果月間報告書(未公表).
- 早瀬吉雄. 2018. 利根川上流域における大気からの窒素沈着と河川の窒素濃度. 水土の知. 86 (4).
- 田中国介. 2004. 京都の米、京の旨味を解剖する. 人文書院.
- 早瀬吉雄・瀧本裕士. 2016. 庄川・黒部川・手取川扇状



地における水循環とトミヨ生息域. 水土の知. 84 (2).  
 富山県環境科学センター. 2012. 大気環境調査. 富山県環境科学センター年報. 39.  
 早瀬吉雄・瀧本裕士. 2013. 黒部川流域の水循環に伴う窒素循環の機能解明. 水文・水資源学会誌. 26 (6).  
 堤利夫. 1987. 森林の物質循環. 東大出版.  
 矢鋪満雄・桐元俊武・隅谷護・角田豊磨・竹野裕治・酒井道則・西村康喜・石田喜朗・志茂たみ. 1978. 水質汚濁気候に関する研究(第6報). 石川県衛生公害研究所報告. 15.  
 丸山利輔・高橋強・能登史和. 2012. 手取川扇状地における生活排水による窒素負荷ポテンシャルとその長期変動、農業用水を核とした健全な水循環. 石川県立大学出版会.  
 手取川七ヶ用水土地改良区. 2000. 地域用水機能増進事業 悠久の大地.パンフレット.  
 平井賢一. 1992. 手取川扇状地の魚類 白山ー自然と文化一. 北国新聞社.  
 早瀬吉雄. 2014. 手取川流域における自然資源の機能評価と環境の変化.水土の知. 82 (10).  
 石川県・金沢市・七尾市. 1976～2010. 石川県地下水保全対策調査報告書1974-2008.  
 石川県. 1975-2010. 石川県統計書.  
 コーエン JE. 1998. 新「人口論」生態学的アプローチ.

農山漁村文化協会.  
 農林水産省.  
[http://www.maff.go.jp/j/heya/kodomo\\_sodan/0405/05.html](http://www.maff.go.jp/j/heya/kodomo_sodan/0405/05.html)(参照:2012/07/02)  
 石川県企業局. 2010. 水質試験年報.  
 農林統計協会. 1981；1991；2002. 1980年、1990年、2000年世界農林業センサス. 石川県統計書(林業編).  
 森林総合研究所. 森林による炭素吸収量をどのように捉えるか.  
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/index.html> (参照:2012/07/02)  
 温室効果ガスインベントリオフィス(GIO). 2009. 日本国温室効果ガスインベントリ報告書. 7.  
 林野庁近畿中国森林管理局. 森林・樹木のもつ二酸化炭素を吸収する働き.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/kinki/hyogo/mori-grow/mori-co2.html>(参照2012/07/02)  
 農林水産省. 2000. 2000年世界農林業センサス 石川県.  
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2010/00houkokusyo.html>(参照:2012/07/02)  
 矢野恒太郎記念会.2006. データで見る県勢.2007年版.  
 中央研究所. 2010. 電源別のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量を評価. 電中研ニュース.

## Improvement of water environment and functional evaluation of natural resource in the Tedor River Basin by agricultural and rural development project

Hayase, Yoshio (Professor emeritus, Ishikawa Prefectural University)

### Abstract

Improvement of water environment by agricultural and rural development project and rural community sewerage improvement project promoted. At the central part and the end part of the Tedor alluvial fan, water close to the water quality of source part can be obtained. For this reason, good-tasting rice production is possible by nitrogen suppression cultivation. The benefits of natural resources in Tedor river basin are rice for 470,000 people and tap water for 960,000 people. Compared to 214,000 people in the basin, it supplies a lot of people's living necessities. The amount of carbon absorbed by forest areas in the Tedor river basin corresponds to an expired volume of about 500,000 people per year, which is 2.3 times the river basin population.

Keywords: Tedor river basin / Water quality/ Agricultural and rural development project / Natural resource /Absorbed carbon in forest