

引田湾に隣接する森林流域からの 物質流出機構と流出負荷量

SOLUTE RUNOFF SYSTEM AND RUNOFF LOAD FROM THE FORESTED BASIN ADJACENT TO HIKETA BAY

田村隆雄¹・端野道夫²・末永慶寛³・星川豪⁴
Takao TAMURA, Michio HASHINO Yoshihiro SUENAGA and Go HOSHIKAWA

¹正会員 博(工) 徳島大学助手 大学院リソテックナノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

²フェロー会員 工博 徳島大学教授 大学院リソテックナノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

³正会員 工博 香川大学助教授 工学部安全システム建設工学科 (〒761-0396 高松市林町2217-20)

⁴学生会員 徳島大学 大学院先端技術科学教育部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

Hiketa bay is located in southwest of Harima-Nada where the red tide happens frequently. For estimating the solute runoff system to Hiketa bay from a surrounding forested basin, water quality observation was executed in Umayado river basin adjacent to the bay. The following findings were obtained. (1) The seasonal change of the stream water quality was not seen, as for the solute like NO_3^- . It is thought that the paucity of precipitation caused it. (2) Rain that exceeds 100mm influences the stream water quality system of about one month after the rainfall event. (3) The dam in the upstream decreases the concentration of NO_3^- and SO_4^{2-} . However the concentration of SiO_2 and T-Fe were not influenced. (4) The amount of SiO_2 supplied from the forested basin in a year equals the amount of SiO_2 that always exits in Hiketa Bay. (5) The heavy rain caused by the seasonal rain front and the typhoon is the key role of SiO_2 and T-Fe runoff system in the basin.

Key Words : forested basin adjacent to bay, solute runoff system, runoff load, mass balance of bay

1. はじめに

陸域、特に森林域から海域に流出する河川の水質や物質量の評価が社会から要請されるようになってきた。これには沿岸部を含めた流域圏レベルの生態系の保全、生物多様性の確保という地球環境問題や学術的な要請¹⁾だけでなく、沿岸漁業環境の保全や創出といった産業界からの要請²⁾もあり、急務の課題になっている。

引田湾は香川県東かがわ市引田地先に位置し、瀬戸内海播磨灘西南部海域の一角を占める小規模で開放的な湾であるが、ハマチ養殖発祥の地であり、香川県の海面漁業、養殖漁業の3分の1を占める。本海域では1960年代から水質悪化・富栄養化にともなって赤潮が頻繁に発生するようになった。1970年代にはCOD総量規制や窒素・リンの削減に関する瀬戸内海環境保全特別措置法が施行されたが、依然として赤潮被害が頻発している。例えば2003年には2件の赤潮により、養殖ハマチ等約30万尾が斃死(被害額5億7600万円)した³⁾。引田湾の赤潮は春か

ら夏に発生する渦鞭毛藻、ラフィド藻であることが多いことから、これらの抑制に寄与する珪藻類の生長に必要な珪酸の不足が赤潮被害の一因と考えられている⁴⁾。

香川県東部地域の年間降水量は約1200mmで、数年に1回程度の割合で渇水に見舞われる。その一方で梅雨前線や台風による大雨のために、一時的には珪酸や栄養塩を含む河川水が湾内に多量に流入することがある。つまり、ほぼ同時期に発生する河川から湾への物質供給量の変化と、湾内と周辺海域で観測される赤潮には何らかの因果関係があるものと推察することができる。

本研究では、陸域からの雨水物質流出機構と海域の物質流動・植物プランクトン動態を連動させたモデル解析に必要な基礎的知見を得ることを目的とする。具体的には引田湾に隣接する森林域から発する河川の中で最も大きな二級河川馬宿(うまやど)川水系を対象にした森林域からの物質流出機構の検討、海域への年間物質流出量の推定、ならびにそれらに与える大雨の影響について基礎的な検討を行った。観測を実施した2005年は渇水年ではあったが総降雨量100mmを超える大雨が2回観測された。

2. 流域と観測方法

(1) 馬宿川水系の概要

図-1に二級河川馬宿川水系の概要を示す。馬宿川水系は、本川である馬宿川と、千足（せんぞく）川、荒倉谷川などからなる。調査対象とした千足川は、水系の西域に位置し、徳島県と香川県の県境となっている阿讃山地から発する西谷川を源とし、千足ダムを通過して新磨（ちやうなとぎ）橋の直前で荒倉谷川と合流する。その後、新磨橋の下流で東方から流下してきた馬宿川に合流して引田湾に至る。西谷川源流部から河口までの全長は約8.6km、馬宿川水系全体の流域面積は22.5km²で、山地森林域が流域全体の約90%を占める。森林植生はコナラ、アラカシ、アカマツの自然林の中にヒノキとスギの人工林が50～60%程度占める。山間部の地質は和泉層群で、砂岩・泥岩の砂岩勝ち互層である。森林域の表層土壌はレキ混じりの乾性褐色森林土で覆われており、その厚さは10cm～20cm程度と大変薄い。河口近くには気象庁のAMeDAS引田観測所、山間部の千足川には香川県千足ダム（有効貯水量196万m³）がある。ダム関連施設として水位警報局が新磨橋と山間部出口に位置する万代（よろず）橋に設けられている。AMeDAS引田観測所での年平均降水量（1979～2000年平均値）は1215mmである。

(2) 雨量と流量観測の概要

雨量データはAMeDAS引田観測所と香川県千足ダム管理事務所敷地内に設置されている雨量計から得た。本論文では特に断らない限り雨量データは千足ダム地点の値を用いる。次に流量データであるが、千足川新磨橋水位警報局で常時水位観測が行われているものの、正確な水位－流量曲線は整備されていない。そこで著者らが開発した「雨量・水位データから流量を推定する手法」⁵⁾を平成16年に同地点で観測された一連の台風にとまう5洪水の雨量と水位データに適用して、水位－流量曲線を作成した。本手法の概要と新磨橋地点の水位－流量曲線の詳細については参考文献5)に詳しい。

(3) 水質観測の概要

水質測定に供する渓流水の採取は、千足ダム上流部に位置する西谷川橋と、ダム下流部で水位計が設置されている新磨橋で行っている。試料水の採取は総降水量が100mmを超えることが予想されるような大雨時には数時間～1日間隔、それ以外は降雨イベントが終了した翌日を中心に1週間に1回以上の頻度で定期的に行っている。採水作業は手作業で、定期観測の場合の採水時刻は毎回8:00～9:00である。採水量は200mlでポリ容器に詰めて研究室に持ち帰って0.45μmのメンブレンフィルターで濾過をした後に水質測定に供する。水質項目は、NO₃⁻、NH₄⁺、NO₂⁻、PO₄³⁻、SO₄²⁻、Cl⁻、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、珪藻

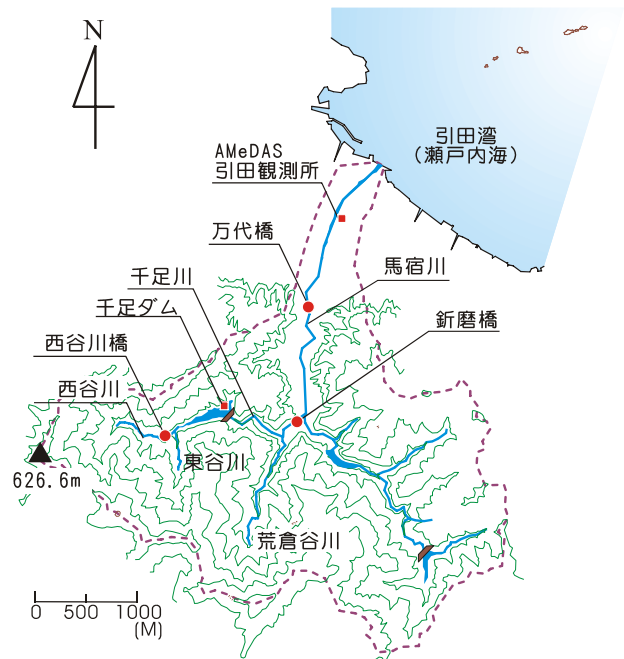


図-1 馬宿川水系の概要

類の成長に欠かせない溶存態SiO₂、及び近年注目されている鉄を代表する項目としてT-Feである。無機イオンはイオンクロマトグラフ（島津製 PIA-1000）を用いて測定し、SiO₂とT-Feは分光光度計（HACK製 DR/2500）で測定している。

(4) 観測期間の水文概要

本論文で用いる観測資料は2005年4月から12月の9ヶ月間のものである。千足ダム地点での年間降水量は1082mm（期間雨量827mm）であった。AMeDAS引田観測所の年間降水量は937mm（年平均値の69%）で1996年以来の渇水であったが、期間中に総降水量100mmを超える降雨イベントが2回発生し、それぞれ数時間～1日間隔の水質観測を行うことができた。1回目は、7月1日～7月4日に活発化した梅雨前線により発生した総降水量158mm、最大降雨強度20mm/hr、新磨橋地点における最大ピーク流出高0.7mm/hrの降雨イベント（以下、Event1と記す）であり、2回目は9月4日～9月7日に台風14号の接近にともなって発生した総降水量328mm、最大降雨強度30mm/hr、最大ピーク流出高8.8mm/hrの降雨イベント（以下、Event2と記す）であった。これ以外の降雨イベントは一雨雨量が35mm以下の比較的小規模なものであった。4月～12月の観測期間中の水質観測回数はダム上流部の西谷川橋で46回（うちEvent1に直接関係するものが9回、Event2に関係するものが2回）、ダム下流部の新磨橋で53回（Event1に直接関係するものが9回、Event2に関係するものが12回）である。上流部に位置する西谷川橋では、台風通過時の採水作業に危険を伴うため、Event2において水質観測数が新磨橋より少なくなっている。

3. 観測結果と考察

(1) 千足川水質の季節変動と物質流出機構の特徴

図-2に西谷川橋地点、鉦磨橋地点の水文・水質観測結果を示す。図は上から順に、日降水量（千足ダム）、日流出高（鉦磨橋）、日平均気温（AMeDAS引田観測所）、物質濃度（西谷川橋、鉦磨橋）、および物質負荷量（鉦磨橋）である。無機イオンのうち、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} については、大半が0.01mg/L未満であったため割愛している。これまでに著者らは、馬宿川水系とは地質、降水量等が異なる徳島県白川谷森林試験流域（植生：スギ人工樹林、地質：砂質片岩・泥質片岩、1992年降水量2812mm）の物質流出機構について詳細な検討を行っている⁷⁾。そこで白川谷と対比させて、2005年の千足川の渓流水質と物質流出機構の特徴について検討する。

まず表層土壌起源の代表的な溶質であり、生物化学的な影響を受けて渓流水濃度に季節変化が現れやすい NO_3^- を取り上げる。白川谷では日平均気温が 15°C を超えると渓流水 NO_3^- 濃度が増加し、秋以降気温が低下すると濃度も低下するという明瞭な傾向が見られた。しかし千足川西谷川橋と鉦磨橋の物質濃度を見ると、洪水イベントで一時的な濃度上昇は見られるものの、季節変化は見られない。この理由の1つとして両流域の観測年における降水量の差が考えられる。四国中央部の多雨地域に位置する白川谷森林試験流域の年降水量は2500mm～3000mmで、観測を実施した1992年も春から秋にかけて50mm以上の降雨イベントが2～3週間に1回以上の頻度で発生していた。つまり NO_3^- を多量に含む表層土壌から発生する中間流出成分が頻繁に発生したため、 NO_3^- をあまり含まない地下水流出成分が卓越する冬季よりも渓流水濃度が高くなったと考える。千足川付近は年平均降水量が白川谷の半分程度であり、しかも2005年は渇水年であった。したがって夏季に中間流出が発生するような比較的大きな降雨イベントがほとんどなかったために、渓流水濃度に季節変化が認められなかったと考える。付け加えるならば平水年であっても白川谷と比較すれば、渓流水濃度の季節変化はそれほど明瞭に現れないと推測する。

次に千足ダムの河川水質への影響について検討する。鉦磨橋の上流で荒倉谷川などが千足川に合流しているが、本論文では河川構造物のない荒倉谷川などの水質は同じく河川構造物のない西谷川と同じだと考える。まず NO_3^- 濃度を比較してみると、観測期間を通じてダム上流部に位置する西谷川橋の濃度が明らかに高い。観測期間の平均値は西谷川橋が3.29mg/L、鉦磨橋が1.70mg/Lで2倍程度の差がある。後節で述べるように洪水時も同程度の差が認められる。これは両者の間に存在する千足ダム貯水池における沈下、消費やダム直下から鉦磨橋直上の河道内に繁茂している植生による吸収作用等が考えられる。

基質由来の SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 SiO_2 、T-Fe等は、西谷川橋、

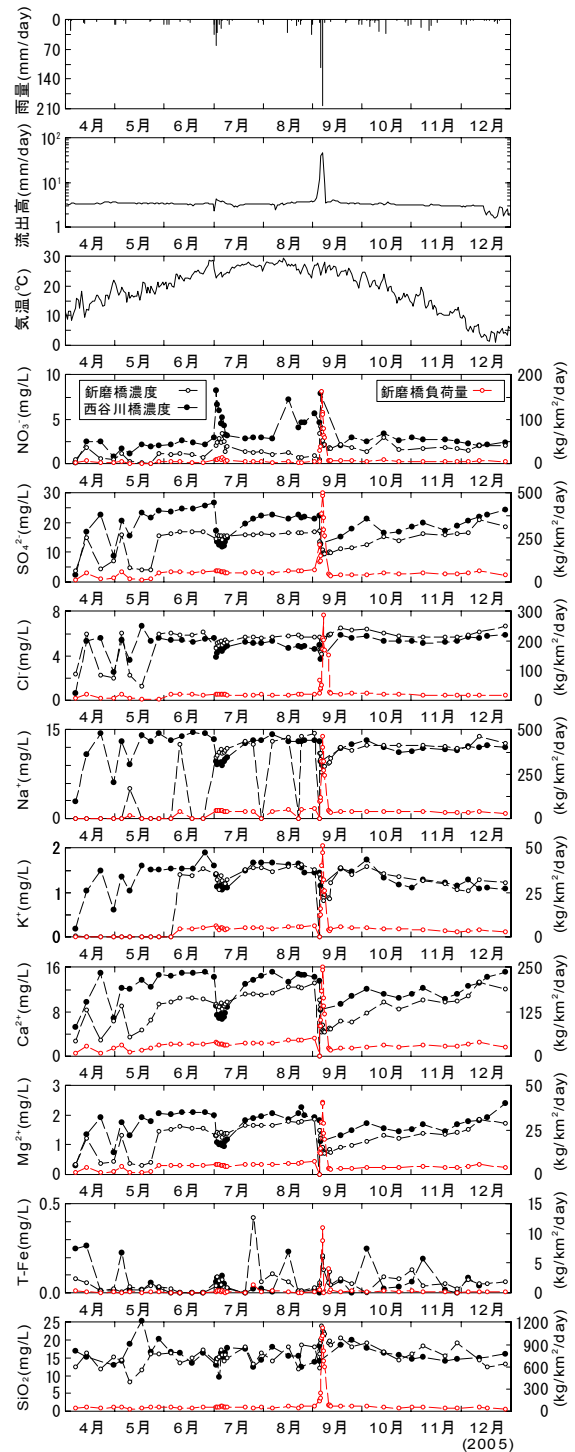


図-2 水質観測結果（2005年馬宿川水系千足川）

鉦磨橋の双方で洪水時に一時的に濃度が減少するが季節変化は見られない。ただし2地点の濃度を比較すると、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} は NO_3^- と同様な濃度差が平時に認められ、貯水池の影響を受けていると考える。 SiO_2 、T-Feについては、2地点間で明瞭な濃度差が認められない。Si、O、Feは地殻の81%を占める主要構成物質であり、砂、岩石に多量に含まれているため、河床からの溶出量（供給量）も多いと考えられる。そのため SO_4^{2-} などより2地点間の濃度差が小さくなっているものと推察する。

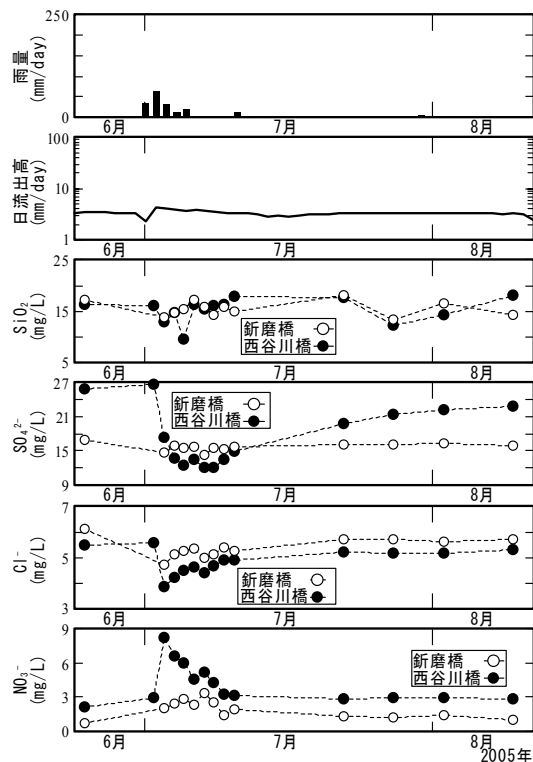


図-3 Event1の水質観測結果

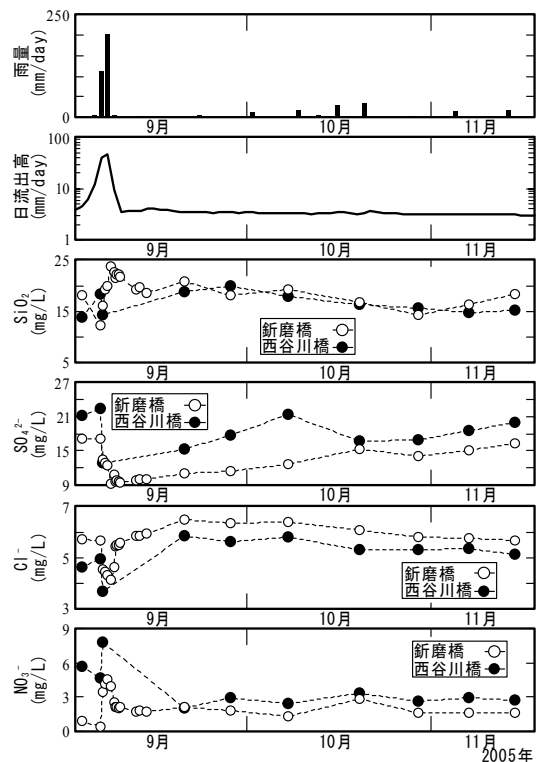


図-4 Event2の水質観測結果

(2) 大雨がもたらす千足川の短期・中期的な渓流水変化と物質流出機構の特徴

a) 大雨が短期的な物質流出機構に与える影響

図-3にEvent1, 図-4にEvent2を含む, イベント発生直前から終了後約1ヶ月までの水質変化の詳細を NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , 及び SiO_2 について示す. 西谷川橋, 鉦磨橋の洪水時の物質濃度変化は, 様々な論文^{6), 7)}で指摘されている通り, 土壌深層や地下水帯から流出する SO_4^{2-} は流量ピーク時に希釈されて濃度が減少し, 土壌表層から流出する NO_3^- は顕著な濃度上昇を示している. SiO_2 については, 鉦磨橋地点で最大流出高8.8mm/hrを記録したEvent2において, 流量ピークの直後に濃度が上昇に転じて最大値を示す特徴が見られた. これは降雨イベント中に発生したと思われる表面流出成分によって発生した流出土砂からの SiO_2 溶出が流量ピーク後も継続して生じている一方で, 流量が急激に減少したために観測されたと考える.

b) 大雨が中期的な物質流出機構に与える影響

両イベントとも発生後30日以内には比較できるようなまとまった雨量が観測されていない. そこで両イベントについて, 降雨終了後に雨水流出高が降雨前のレベルに戻った時点以降の渓流水濃度は, イベント中の降水が浸透・流出した地下水流出成分の濃度であると考え, 大雨が地下水水質の形成機構に与える影響など, 洪水後1ヶ月程度の物質流出機構について議論できる. 図-3, 図-4より最も興味深いのは, 洪水時に希釈された物質濃度の1ヶ月以上にも及ぶ回復現象である. その傾向が最も顕著に表れている SO_4^{2-} を例にして述べると, Event1で

はダム上流部の西谷川橋, Event2では西谷川橋に加えてダム下流部の鉦磨橋でもその現象が観測されている. 雨水流量が洪水前のレベルに戻るのに要した時間は, 水位観測値から判断するとEvent1で9日間, Event2で7日間である. したがって地下水流出成分の SO_4^{2-} 濃度の回復はその3~6倍程度の時間を要していることになり, このことから地下水流出成分の濃度回復に最も寄与するであろう基質からの SO_4^{2-} 溶出速度を窺い知ることができる. この現象は鉦物由来の Ca^{2+} , Mg^{2+} 等についても同様に見られる.

次に興味深いのは SiO_2 の濃度変化である. 具体的にはEvent2において, 洪水後7日程度までは濃度低下が速やかであるが, それ以降は緩やかになり, 降雨イベント前の濃度レベルと比較すると1ヶ月程度高い状態が続く. これは SiO_2 が地殻の主要構成物であり, 表層部の土砂だけでなく河床材料にも多量に含まれるため, 洪水時には山腹斜面から, 洪水後は乱された河床材料から溶出しているものと考え. このように100mmを超えるような大雨は降雨イベント中だけでなく, その後1ヶ月程度の中期的な物質流出機構にも影響を及ぼすと推察される.

(3) 馬宿川流域からの水・物質流出量の算定

西谷川橋と鉦磨橋の間には千足ダムが存在する. このため無機イオンの数項目で洪水時, 平常時ともに濃度差が認められる(図-2). しかし流量変化に対する物質濃度の増減傾向は同じであり, 時間遅れも認められない(図-3, 図-4). また物質流出量は物質濃度の変化よりも雨水流出高の増減の影響を強く受ける(図-2). 以上

表-1 引田湾に隣接する森林域からの水と物質の年間流出量（2005年）

	水	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	T-Fe	SiO ₂
森林域からの流出量 (t/km ² /year)	1,283	1.7	16.7	6.3	8.4	1.1	10.6	1.5	0.1	20.0
馬宿川森林域からの流出量 (t/20.33km ² /year)	26,083	34.8	338.7	127.8	171.7	22.4	215.5	30.4	1.3	407.0
引田湾隣接森林域からの 流出量 (t/38.55km ² /year)	49,460	65.9	642.2	242.4	325.5	42.5	408.6	57.6	2.4	771.7

表-2 洪水時の水と物質の流出量と年間流出量に占める割合（2005年馬宿川流域（森林域））

	水	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	T-Fe	SiO ₂
洪水時流出量(t) (Event1とEvent2の和)	4,239	8.3	39.2	15.2	28.5	3.4	20.9	3.3	0.3	58.9
年間流出量に占める割合(%)	16	24	12	12	16	15	10	11	23	14
Event1 (7/1~7/9) の 流出量(t) [総降雨量128mm]	1,812	1.6	10.1	3.4	7.3	0.8	6.1	0.9	0.03	10.0
年間流出量に占める割合(%)	7	5	3	3	4	4	3	3	2	2
Event2 (9/4~9/10) の 流出量(t) [総降雨量328mm]	2,427	6.7	29.1	11.8	21.2	2.5	14.8	2.4	0.3	48.9
年間流出量に占める割合(%)	9	19	9	9	12	11	7	8	23	12

の理由から馬宿川流域の森林域からの物質流出量の算定では、千足ダムの下流部ではあるが、流量情報の得られる鉾磨橋地点の物質濃度を流出水代表物質濃度として採用することにした。

物質流出量の算定に必要な1カ年分の日代表物質濃度は、鉾磨橋地点の水質観測回数が53回と比較的多いこと、大雨時以外の観測では毎回同時刻に採水していること、2005年に発生した大きな2回の洪水イベント時の観測値が揃っていること等の理由から、前後する2回の水質観測データより、その間の濃度変化率(mg/L/day)を計算し、観測未実施日の物質濃度を推定して1カ年分の日代表物質濃度を得た。そして日流出負荷量は日代表物質濃度に鉾磨橋の日平均水位データから得られる日流出量推定値を乗じて算出した。観測開始前の1月～3月の日代表物質濃度は、Event1が発生する以前の4月から6月までの濃度観測値の平均値を一律に適用することにした。これは物質濃度に明瞭な季節変化が見られず、平水時の物質濃度は安定しているという観測事実を根拠にした。以上のような方法で算出した物質流出量の結果を表-1に示す。表は上から順に鉾磨橋地点を基準点とした千足川流域（森林 8.77km²）の1km²あたりの水流出量と物質流出量、これをもとに算出した馬宿川流域の森林域（20.33km²）からの水と物質の流出量、そして引田湾に接する全森林域（38.35km²）からの流出量の推定値である。

この資料をもとに引田湾の物質収支における隣接森林域の位置づけについて、珪藻類の成長に欠かせないSiO₂を例にして概観する。引田湾の表面積は約70km²、平均水深は16mであり、海水量は約112千万m³である。2003年10月16日（7日間先行雨量40mm）に計測した引田湾内の海水のSiO₂濃度は全層平均で1.2mg/Lであった⁴⁾ので、引

田湾内の溶存態SiO₂は約1,300t程度と見積もることができる。この量が湾内の平均的に存在している量と考えれば、表-1から分かるように、渇水年であった2005年さえ、隣接森林域からのSiO₂供給量は年間770tほども見積もられることや、図-2から分かるように物質流出量が雨水流出高に支配されていることから考えて、海水のSiO₂濃度を測定した2003年（年間降水量：1858mm）では、引田湾のSiO₂量に匹敵する量が周辺の森林域から流出していたと推察される。

(4) 大雨、洪水規模が水・物質流出量に与える影響

年間降水量が約1200mm程度の本流域では、1回の大雨は逕流量と逕流水質に大きな変化を与える。そこで2005年に発生した2回の洪水時に流出した馬宿川森林域からの水と物質の流出量、そして、それぞれが年間流出量に占める割合（表-1の馬宿川森林域からの流出量）を表-2に示す。表の2行目、3行目にはEvent1とEvent2による水・物質流出量とそれが年間流出量に占める割合も示している。ここで物質流出量算定に用いる洪水期間は降雨イベント開始日を起点日としてイベント前の水位に戻ったときの日を終了日としている。

2回の洪水による水流出量は年間水流出量の16%を占める。これに相当する各物質の値を検討すると、NO₃⁻やT-Feはそれぞれ24%、23%であり、水流出量の値より大きいことから、その年間流出量は大雨の発生回数や降水量に左右されやすいことが分かる。一方でSO₄²⁻やCl⁻といった物質は洪水時に濃度が低下するので、年間流出量に占める洪水時流出量の割合は12%程度と水流出量のそれに比べて低くなる。ゆえにNO₃⁻などと比較すると、SO₄²⁻やCl⁻の年間流出量は雨量に左右されにくいと考えられる。

次にEvent1とEvent2を比較することにより、洪水規模の差が物質流出量に与える影響の強さについて検討する。千足ダムでの洪水調節があるために、Event1とEvent2の洪水時における水流出量が年間流出量に占める割合は、それぞれ7%と9%と、降水量の差（約2.6倍）ほど大きな違いがない。しかし各物質についてその値を検討すると、全ての物質でEvent2の値はEvent1の2倍以上となっている。これよりEvent1程度の小規模な洪水（最大ピーク流出高0.7mm/hr）ではそれほど流出しない物質でも、Event2のような大規模な洪水（最大ピーク流出高8.8mm/hr）では雨水流出量の増加率以上に流出することが分かる。例えば SiO_2 とT-Feは、それぞれ6倍、11倍も大きくなっており、Event2のピーク流出高の値から推測すると、降雨量のピーク前後に山地表層から発生していると推測できる表面流出成分、それによって流出する土砂、及び攪拌される河床材料が SiO_2 やT-Feの流出機構に重要な役割を果たしていると考えられる。

4. おわりに

本論文では、引田湾に隣接する馬宿川水系千足川で水文水質観測を行い、当該森林域の渓流水質や物質流出機構の基礎的な検討、森林域から海域への物質流出量の算定、および海域の物質収支における森林の位置づけに関して検討した。その結果以下の知見を得ることができた。

- (1) 2005年の馬宿川水系千足川の物質濃度には、明瞭な季節変化は見られなかった。これは同年の降水イベント数、降水量が少なく、地下水流出成分とは異なる物質濃度を有する中間流出成分や表面流出成分の発生数が少なかったためと考えられる。
- (2) 総降水量100mmを超える大雨は、降雨イベント中の渓流水質の変化だけでなく、降雨終了後数十日の渓流水質にも影響を及ぼす。特に地殻の主要構成物である SiO_2 は濃度が高い状態が洪水後も数十日継続する。これは流出土砂や攪拌された河床材料からの溶出が原因だと考える。
- (3) ダム上流部渓流とダム下流部渓流の物質濃度を比較すると NO_3^- と SO_4^{2-} など無機イオンの数項目は千足ダム貯水池の影響を受けて、濃度レベルが恒常的に低いが、地殻の主要構成物である SiO_2 やT-Feの濃度はほとんど変わらなかった。
- (4) 年平均降水量が約1200mmの同地域では、森林域から海域へ供給される物質量は、梅雨前線や台風の降水量やピーク流出量に左右される。 SiO_2 とT-Feの流出機構では、大雨時に山地表層から発生する表面流出成分によって流出する土砂や洪水によって乱される砂や小石などの河床材料が重要な役割を果たしていると推察される。

- (5) 渇水年であった2005年でも森林域から流出する SiO_2 量は770t程度と見積もられた。流出負荷量は降水量に強く支配されるため、平年では森林域から引田湾に供給される年間 SiO_2 量は湾内 SiO_2 賦存量（推定1,300t程度）に匹敵すると考えられる。つまり引田湾の SiO_2 収支において、周辺森林域は重要な供給源となっている。

今後は、水・物質流出モデルを用いて、例えば流出土砂や河床材料からの SiO_2 溶出量の定量評価などを試みる。また得られた河川水量や物質流出量に関する定量的な情報を、引田湾を対象にした3次元移流・拡散方程式を用いた流動場および生態系に関する数値シミュレーションモデルに与えて、湾内の物質流動解析やプランクトン濃度分布・変化等の評価を行い、陸域からの海域への物質流出機構と赤潮発生メカニズムについて検討したいと考えている。

謝辞：本稿の作成にあたって貴重な資料を提供して下さいました香川県土木部河川砂防課と香川県赤潮研究所に厚く御礼申し上げます。なお本報告は、平成18年度河川整備基金『「森-川-海」雨水・栄養塩類流出モデルの構築と流出負荷量の算定に関する調査研究』（代表：端野道夫）、平成18年度科学研究費補助金『水文・海洋連結モデルによる洪水が流域物質流出機構と沿岸海域生態系に与える影響評価』（代表：端野道夫）、平成18年度科学研究補助金『河川水位情報と地形図情報を活用した汎用性に優れる分布型物質流出モデルの開発』（代表：田村隆雄）の研究助成によるものである。

参考文献

- 1) 京都大学フィールド科学教育研究センター：森と里と海のつながり，大伸社，2004。
- 2) 水産庁漁港漁場整備部，林野庁森林整備部，国土交通省河川局：森・川・海のつながりを重視した豊かな漁場海域環境創出方策検討調査報告書，2004。
- 3) 香川県赤潮研究所：香川県赤潮研究所年報（平成15年度），p. 9，2005。
- 4) 原順一郎：播磨灘引田沖における珪酸供給と赤潮発生に関する研究，香川大学工学部卒業研究論文，2004。
- 5) 田村隆雄・端野道夫・橘大樹：一般中小河川にも適用可能な流出解析モデルパラメータの同定手法，水工学論文集，50，pp. 350-355，2006。
- 6) 平田健正・村岡浩爾：森林域における物質循環特性の渓流水質に及ぼす影響，土木学会論文集，399，pp. 131-140，1988。
- 7) 田村隆雄・吉田弘・端野道夫：溶出流出モデルの構築に向けた徳島県白川谷森林試験流域における物質流出特性の評価，水文・水資源学会誌，15(4)，pp. 362-370，2002。

(2006. 9. 30受付)