

# 瀬戸内海沿岸山地流域における水環境と それに及ぼす果樹園の立地の影響

—下蒲刈島の例—

小野寺真一\*・齋藤 光代\*\*

## 1. はじめに

瀬戸内海沿岸地域は、年降水量が少なく、降雨は梅雨期に集中している（小野寺・成岡，2002）ため、たびたび夏季の渇水に見舞われ、給水制限や農作物への被害などを受けてきた。そのため、瀬戸内流域では、ため池が多数建設され、同時に、井戸も多数掘削され、これらが渇水時の水資源として利用されてきた。ただし、1994年、2002年、そして2005年の厳しい渇水時には、香川県や広島県などで十分な水が供給できない地域もみられた。

瀬戸内海や霞ヶ浦などの富栄養化水域では、一般にその集水域における農業地域を中心に河川や地下水の水質が悪化し（田淵・黒田，1991；田瀬，2000）、下流にある水域に定常的に栄養塩が流入していることが問題視されている。また、特に増水時期には窒素流入量が増加することが知られている（Burt et al., 1993；齋藤ら，2005など）。瀬戸内海沿岸地域は、柑橘系の果樹園が広く立地しており、大量の化学肥料が投入されるため、水質汚染が深刻である（齋藤ら，2002；齋藤ら，2004など）。

近年、地下水の需要量の増大とともにその用途の多様化にともなって、その量的・質的保全がますます必要とされてきている。従来の多くの研究により、地下水流動系の時間・空間的な評価とそれに及ぼす地形・地質の影響評価が精力的に行われ、同時に汚染物質の輸送についても定量的な評価が進んできた（Domenico and Schwartz, 1990など）。しかし、地球温暖化等ともなう降水量

の変化や汚染物質の多様化が進行してきたことにより、地下水流動プロセスの不均一性や生物地球化学過程の評価、さらには滞留時間の評価などが必要となってきた。また、海洋環境の保全のためには、陸域からの物質負荷量を見積もっていくことが必要であり、地下水の物質負荷過程の解明も重要な課題である。

本論では、下蒲刈島を例に、瀬戸内流域の水環境の特徴を整理し、それに及ぼす果樹園立地の影響を明らかにすることを目的とする。

## 2. 調査地域及び調査方法

下蒲刈島は、広島県呉市の南東に位置し、最高標高は大平山の275mで、面積は8.68km<sup>2</sup>、島の周囲は約16kmである。島の基盤地質として、北部には凝灰質礫岩、砂岩、泥岩をはじめとする堆積岩が、南部には広島花崗岩が分布する（東元ら，1985）。北部及び南部の異なる地質の地域に、山頂部から東側へ流下している明瞭な2つの谷が入っている（図1b）。

北側の堆積岩地域を流下する河川は、大平山の西斜面から発し、最高地点を北巻きにし、下島集落を経由して島の北東付近の塩浜新開を経て海に注ぐ。一方、南側の花崗岩地域を流下する河川は、大平山の南東斜面から発し、そのまま東方へ流下し住吉谷集落を経て海へ注ぐ。2流域ともほぼ中流部に溜池が1ヶ所ずつ存在する（図1b: KS-6、KG-3）。堆積岩流域（KS）の流域面積は約162haであり、花崗岩流域（KG）の約2倍の大きさである。

\*広島大学総合科学部自然環境科学講座

\*\*広島大学大学院生物圏科学研究科・院生

表1 下蒲刈島の2河川における地形特性及び果樹園面積 KS;堆積岩流域、KG;花崗岩流域

	標高 (m)	水平距離 (m)	流域面積 (ha)	果樹園面積 (ha)	果樹園面積率 (%)	平均河床勾配
KG-1	150	1330	3.90	0.90	23.08	0.30
KG-3	60	720	43.12	13.66	31.68	0.17
KG-5	5	150	87.65	33.45	38.16	0.01
KS-2	110	2140	14.37	2.72	18.93	0.17
KS-3	80	1960	37.40	15.10	40.37	0.09
KS-5	40	1630	65.97	30.60	46.38	0.00
KS-7	20	1360	86.99	44.16	50.76	0.05
KS-8	10	1160	119.95	60.31	50.27	0.01
KS-10	2.4	670	151.48	84.38	55.70	0.01
KS-11	2	460	162.34	87.85	54.11	0.00

\*水平距離；河口からの距離、平均河床勾配；区間標高差／区間水平距離

2つの河川流域における上流から下流への地形及び土地利用特性の分布を表1に示す。標高40m～60mより上流側では、河床勾配が0.1以上と急勾配河川となっており、一方、下流側では、河床勾配が0.05以下と緩くなっている。標高10m以下では、扇状地性の堆積面となっている。また、流域内の傾斜地には果樹園が広く分布する。果樹園面積率は、下流ほど高くなる傾向を示す(表1)。下流域の平坦部や緩傾斜地には住宅地が密集している。果樹園では、1年に春、夏、秋の計3回、主に化学肥料を主体とした施肥が行われる。花崗岩KG流域は、源流部が森林であり、KS流域と比較して民家の分布は少ない。

調査は、流域内の2つの河川で上流から下流まで採水を行った。KG流域で5地点、KS流域で11地点である。調査は、2002年3月から2002年10月にかけて行ったものである。

### 3. 河川流出の空間分布特性

下蒲刈島の2つの河川における流量分布を図2に示す。図中の横軸は河口からの水平距離である。ここでは、各試験流域において図1bに示した地点で、2002年3月、6月、10月の平水時に計3回計測された結果を示す。河川流量は、水深が10cm未満と浅かったため、浮きを流して河川流速を計測し、この値と流出断面積との積算から算出した。各調査地点は、KG(花崗岩)流域で5

地点(KG-1～KG-5、うちKG-3は溜池)、KS(堆積岩)流域で11地点(KS-1～KS-11、うちKS-6は溜池)である(図1b)。一般に、河川の上流から下流へ流下するにしたがい集水面積が拡大するため、流量は増加する。また、平水時の河川水は、周辺斜面中に存在する地下水がより標高の低い河川に流出し、集水されてきたものである。ただし、扇状地などの透水性の良い堆積物からなる下流部の主な地形面では、河川での水面標高に比べて周囲の地下水面標高が低いため、河川水が失水する傾向がある。図2から、下蒲刈島でも全体としては一般的な傾向が読み取れる。下蒲刈島では、花崗岩流域において、下流にいくにしたがい大きな変動もなく河川流量が増加しているのに対して、堆積岩流域において、流量の変動が大きい。堆積岩流域の最大流量は、河口から1100mの地点(KS-8)でみられる。これは、この直上で、大平山に源流を持つ最大の支流が流入しているためである。一方、これより下流部は堆積物が厚くたまっている扇状地であり、河川水は地下へ漏水していくため流量が減少している。また、同様に、河口から1500mの地点にあたる溜池の地点でも、流量が減少している。両流域ともに、溜池は、河道の岩盤の上にダムが建設され堰き止められたタイプであり、すぐ上流の地点より流量が減少することは考えにくい。すなわち、堆積岩流域では、岩盤といえども割れ目系が発達しているため、溜池の水圧に押され地下へ漏水していることが示唆

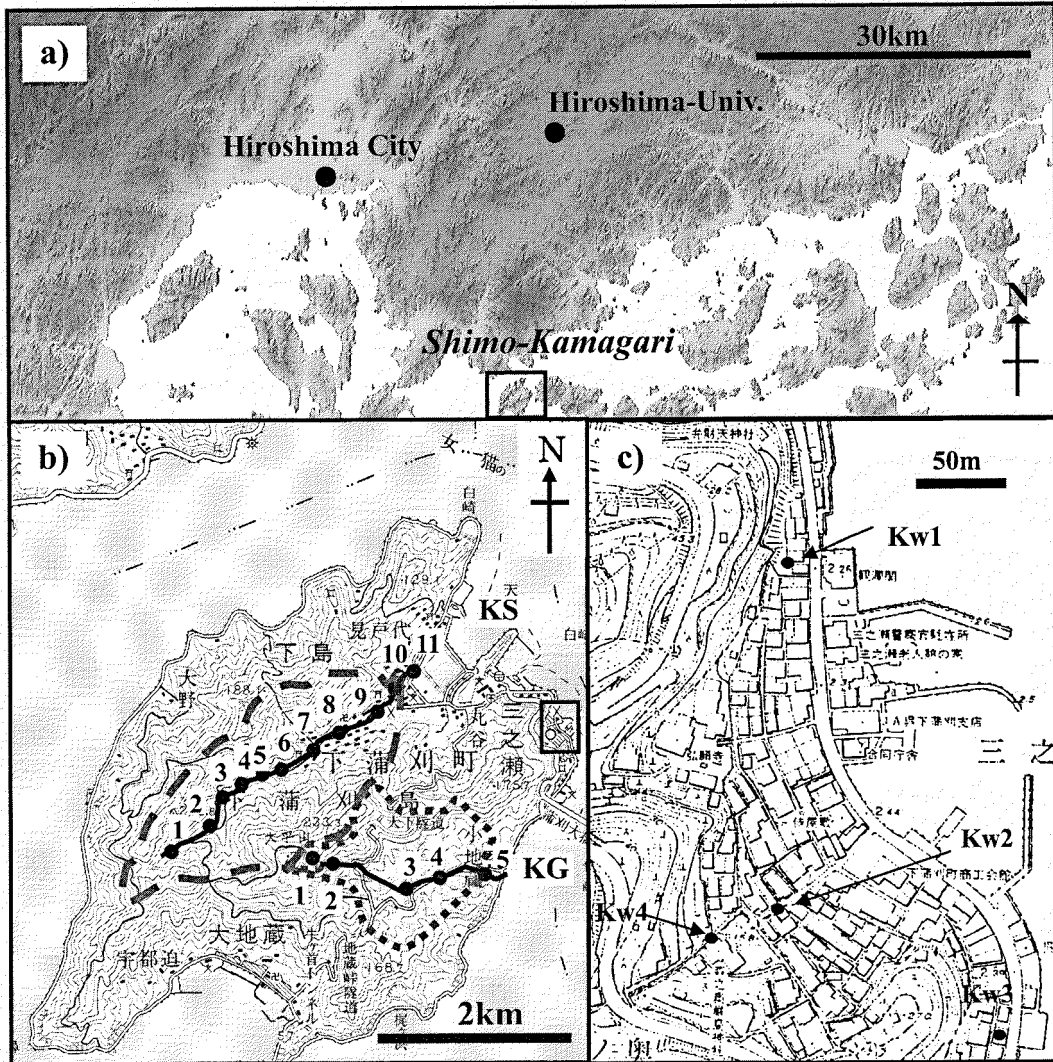


図1 下蒲刈島の2河川流域の位置と調査地点

b) KS; 堆積岩流域、KG; 花崗岩流域、溜池; KS6、KG3、c) Kw1~Kw4; 調査井戸

される。

図3に、河川流出高の上流から下流への変化を示す。河川流出高とは、その地点の河川流量を集水面積で除した値であり、単位面積あたりの流量を意味する。そのため、単位は単位時間あたりの水深で表され、降水量と同じである。流域へもたらされた降水量が同じであると仮定できれば、流出高が多いほど河川を経由して流出していることを意味し、流出高が少ない場合には、地下を経由して下流へ流出しているもしくは地下に滞留していることを意味する。流下にもなう変動は、各期間ともに、堆積岩流域で大きく、花崗岩流域で小さい傾向を示している。また、梅雨期の流出高は、乾燥していた10月に比べて著しく大きい。ただし、花崗岩流域において、梅雨期には上流で最

も流出高が大きく、下流にむけて減少している傾向を示す。これは、堆積岩流域において、源流域、溜池、扇状地を除く地点で一様であったのとは対照的である。一般に、上流域では急傾斜地が広く分布し、水の貯留場となる土壌や堆積物の厚さは薄く、地下水は急勾配ゆえに速やかに排水される。一方で、下流域では緩傾斜地の割合が増大し、堆積物の厚さも増し、地下水の排水も遅く上流部からの集水もあるため、地下水がより停滞し貯留されている。そのため、上流部では、湿潤期と乾燥期との流出高の差は大きくなり、下流部ではその差は小さくなる。花崗岩流域では、上述した一般的な傾向を示すが、堆積岩流域では異なる傾向をもつ。源流域の斜面で生じた岩砕のサイズは、堆積岩流域の場合、主に中礫サイズで、一部巨礫を

含むのに対し、花崗岩流域の場合、細礫から中礫が主で、一部巨礫を含む（小野寺，1999）。そのため、より細礫からなる花崗岩源流域では、河床勾配が大きい場合、岩砕は運搬され岩盤が露出する（西宗ら，2001）が、堆積岩源流域の河床には岩砕が堆積する（小野寺，1999）。また、岩盤の割れ目の個数も花崗岩より多く、岩盤河床でも堆積岩流域では漏水が生じる（小野寺，1999）。以上のようなことから、堆積岩流域の上流部においては河川水の一部が河床堆積物中を伏流し、中流部においては河床の岩盤中の割れ目を經由し、下流部の扇状地においては地下へ漏水すると考えられる。このように、堆積岩地域の河川は、花崗岩流域に比べて、河川と地下水との交流が顕著であるといえる。このことは、次に示す海洋への窒素流出に大きな影響を及ぼしている。

#### 4. 河川流域の窒素流出特性

農業の肥料や生活排水に含まれる窒素の流出は、世界各地で河川や地下水の汚染を引き起こしている（Burt et al., 1993）。硝酸性窒素が、体内に大量に入ると健康障害を引き起こす。また、大量の窒素が海洋に流出することによって、沿岸域では富栄養化が進んだ。下蒲刈島も、肥料を大量に必要とする果樹栽培が盛んな地域であり、水質汚染や瀬戸内海の富栄養化への影響が懸念されている。

##### 4-1. 河川中の窒素流出量の変動

図4に、下蒲刈島の花崗岩流域及び堆積岩流域の河川における、流量、硝酸性窒素濃度、硝酸性窒素流出量の3時期における変化を示す。硝酸性窒素濃度は、肥料の散布時期との関係で春季が最も高かった。ただし、硝酸性窒素流出量は、流量に依存して梅雨期に最大となっている。対照的に、降水量が最も少なかった10月において河川流量は最も少なく、硝酸性窒素流出量も最小になっている。

前述したように、河川の流下にともない河川流量が減少する地点では、地下に河川水が漏水して

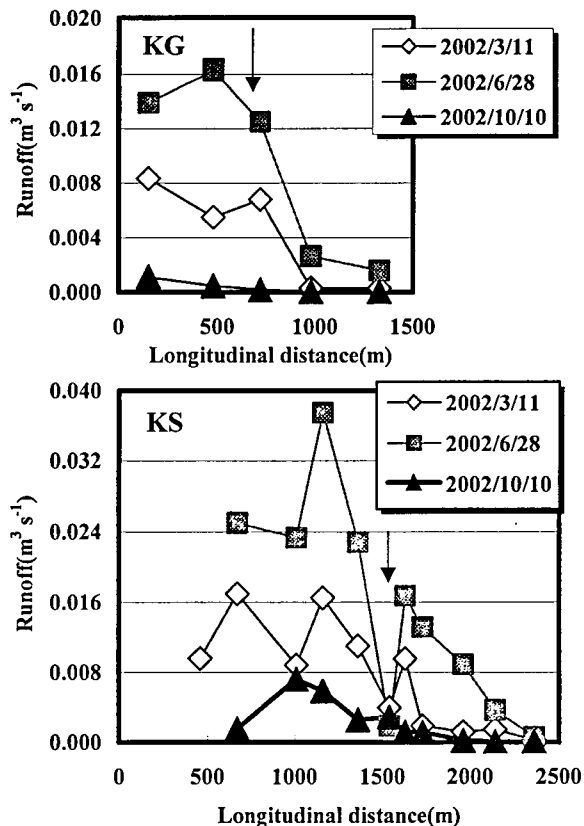


図2 河川流量の上流から下流への変動  
横軸；河口からの水平距離、↓；溜池

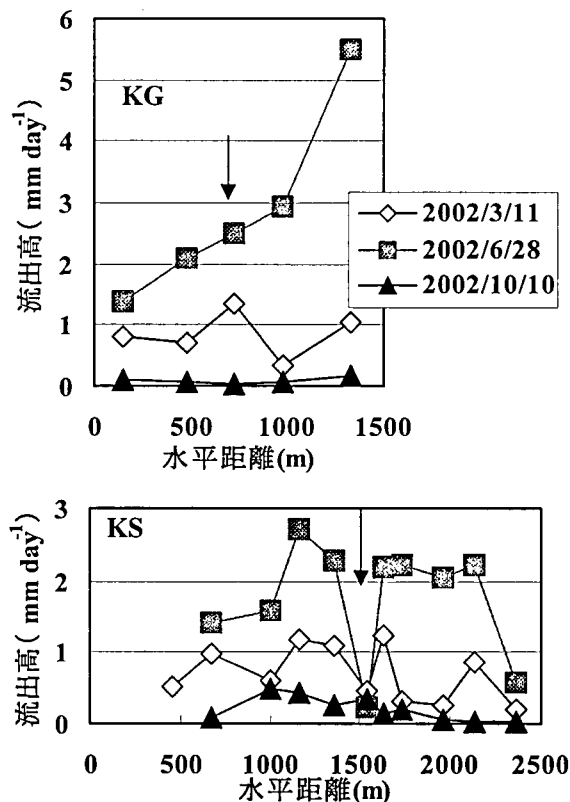


図3 河川流出高（＝流量／集水面積）の上流から下流への変化  
横軸；河口からの水平距離、↓；溜池

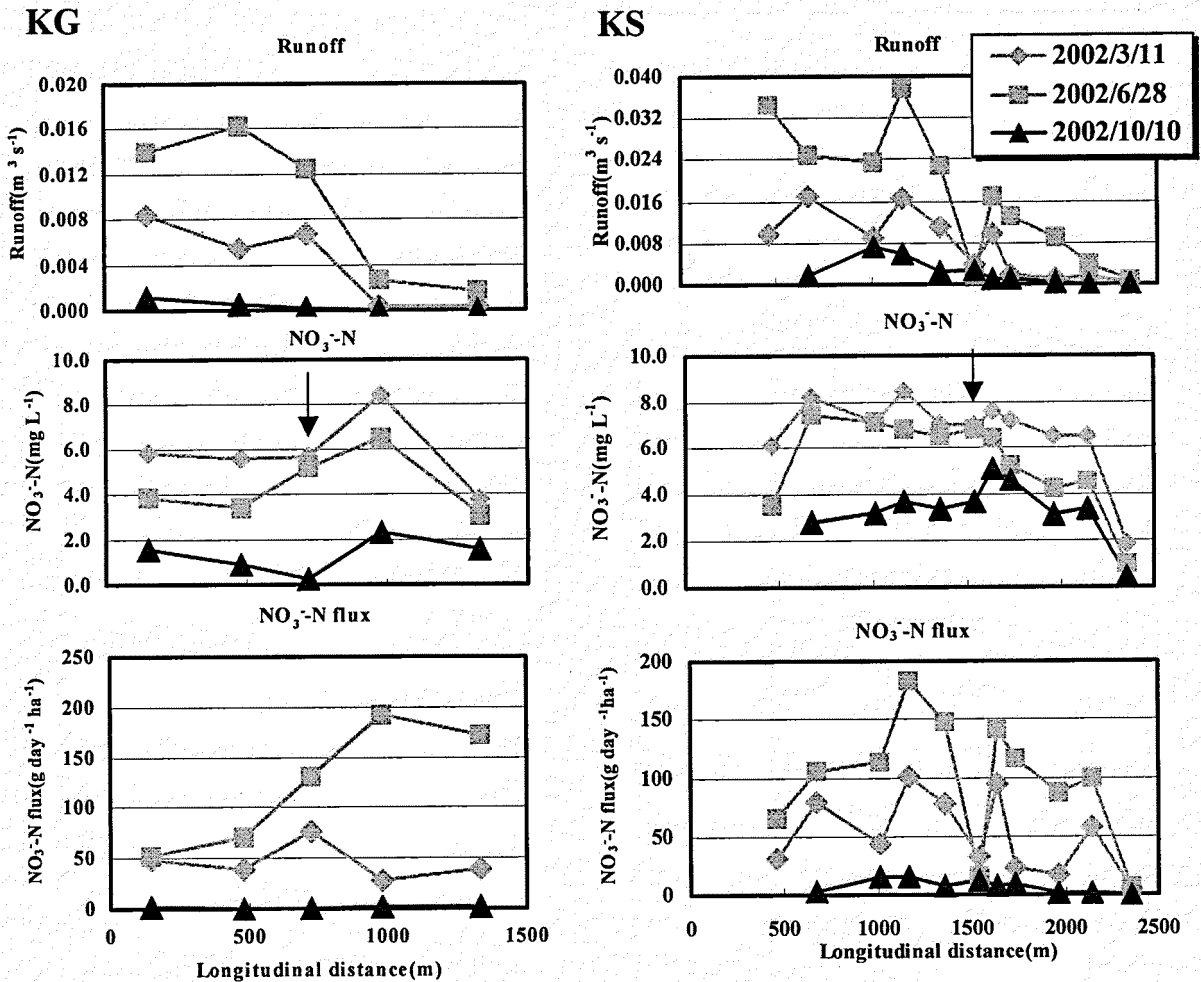


図4 花崗岩地域、及び堆積岩地域を流下する2河川中の流量、硝酸性窒素濃度、窒素流出量の分布  
KG;花崗岩地域、KS;堆積岩地域↓;溜池

いることを意味する。これらの地下への漏水が認められる区間で、硝酸性窒素濃度が低下していることが確認できる。すなわち、地下に一旦侵入することにより、窒素浄化が生じているものと推定される。これは、硝酸性窒素が微生物によってガスに分解される脱窒作用によるものであるが、一部温室効果ガスを排出するため、環境にとって良好といえるかどうかは議論が必要である。河川水の地下水への交流過程は、以上のような質的变化をもたらすことから、近年注目されている。主な地下への漏水域や地下水との混合域は、堆積物が厚く存在する扇状地や氾濫源が中心となる。ただし、堆積岩流域の場合、岩盤中の割れ目が発達している地域も含む。この点で、特に、水の交流が活発であった堆積岩流域では、浄化傾向がいくつかみられる。河口から500m、1000m、2000mの各地点では、流量の減少にともなって濃度が低下

傾向を示す。

また、花崗岩流域でも共通にみられる濃度低下域は、溜池である。従来から報告されているが、貯水池内での有機化や生態系物質循環にともなう消費、沈殿、脱窒が考えられる。流域内に溜池を多数作ることにより、浄化機能の増大を期待するという方策もあるが、一方で、溜池に土砂を堆積することで、シリカ成分や有機物成分が除去され、これらの栄養塩物質に関しては下流域の貧栄養環境の形成に寄与することになる。

#### 4-2. 果樹園面積との関係

窒素肥料を大量に散布する果樹園では、窒素汚染が進行しやすいと考えられる。すなわち、窒素流出量は増大することが予想される。そこで、果樹園面積率（＝果樹園面積／流域面積）と単位面積あたりの平均河川窒素流出量との関係を図5に

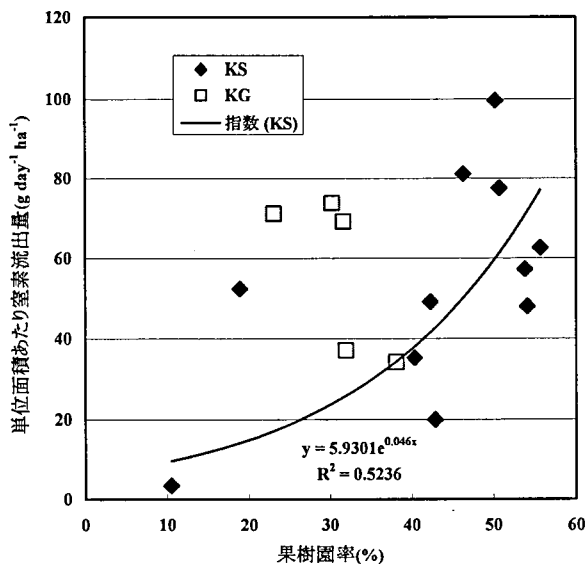


図5 果樹園面積率と単位面積あたりの窒素流出量の関係

KS；堆積岩地域、KG；花崗岩地域

示す。後者は、3時期の平均値であり、果樹園面積は地図から読み取った。果樹園面積に比例して窒素肥料消費量が增大すると仮定すれば、果樹園面積率は単位面積あたりの窒素インプットの指標に置き換えられる。一方、単位面積あたりの河川窒素流出量は、窒素のアウトプットの指標となる。図中には堆積岩流域の傾向を示すために、指数近似曲線を入れてある。果樹園面積率の増大にともなって、単位面積あたりの窒素流出量も増加する傾向を示す。この堆積岩流域の傾向と比べると、花崗岩流域は、果樹園面積率に対する窒素流出量が高い傾向を示す。これは、先に述べたように、堆積岩流域でより河川水が地下水と交流する傾向があり、そのため浄化の影響を受けている可能性が示唆される。一方で、花崗岩類の土壌は、一般に痩せていて貧栄養である。そのため、従来から花崗岩地域では肥料をまく量が多いといわれている。結果として、窒素溶脱量が増加することも考えられる。

## 5. 地下水流出特性

もし我々が地下に向かって穴を掘削していくと、やがてその穴の周囲から水が湧き出してくる場面に出くわす。それが地下水であり、物理的に

は、大気圧に抗せず湧き出せる圧力状態の水といえる。古くから、水の得にくい地域では、地下水が利用されてきた。侵食段階にある河川は、一般に地下水面より深く掘り込まれた天然の溝地形であり、常に地下水の湧き出す場所となっている。一方、堆積段階にある河川は、堆積物が地下水面の上を厚く覆っていくため、常に河川のほうが地下水面より高く、河川水は地下へ漏水していく。

以上のような、地下水の流動方向を明らかにするためには、地下水面の標高を井戸などから計測して明らかにしていくことが必要である。ここでは、下蒲刈島におけるいくつかの既存の井戸における地下水面標高と水質情報から、地下水流出の特性を整理する。

### 5-1. 井戸の分布

下蒲刈島は、沖縄などに代表される珊瑚性の島嶼と比較すれば、起伏に富み、前述したように河川も存在する。そのため、崩積地、河岸段丘、氾濫原や扇状地といった堆積面は狭いながらもあり、そこには、古くから利用されてきた井戸や現在も使用されている井戸が存在する。

#### 1) 三之瀬地区

ここは、背後に山が迫り、深度のある海と接していることから、古くから長雁木を利用した港として発達してきた地区である。現在は狭い平坦地に宅地が密集し、江戸時代には朝鮮通信使の宿舎などが設けられていた。表流水を得ることが難しい地形であったため、江戸時代に使用されていた井戸が残っている。旧庄屋井戸（現酒屋裏、Kw1）、旧朝鮮通信使宿館井戸（Kw2）、旧御番所井戸（現蘭島閣美術館、Kw3）である（図1c）。いずれも海岸沿いで、海からの距離はそれぞれ50m、75m、25mである。また、堆積性の傾斜地に立地する森之奥巖島神社の脇にも井戸がある（Kw4）。井戸のほとんどは、崩積性の堆積面に位置する。

#### 2) 下島地区

ここには、地域の共同井戸などを含めていくつ

表2 各地における地下水流動量（日単位の数値/年単位の数値）

(m/day)/(mm/year)	KS-7 下島、段丘	KS-8 下島、段丘	KS-D 下島、扇状地	KS-10 下島、扇状地	Kw2 三之瀬、扇状地
地点標高(m)	24	13	5.3	2.5	3.3
地下水→河川	0.09 / --	-0.11 / --		-0.14 / --	
地下水→海洋			0.07 / 115	0.07 / 114	0.35 / 526

かの井戸がある。KS-7（春日神社付近）付近には、現河床より3m高い、幅20m程度の河岸段丘（旧河道面）が分布し、その上に民家が数軒建ち並んでいる。ここでは、左岸（北側）の段丘上に建つ民家の庭先に井戸がある（KS-7w）。KS-8付近では現河床より2m程度高い段丘化した幅50mの氾濫原がみられ、右岸側に共同利用されている井戸がある（KS-8w）。扇状地表面上には、KS-9とKS-10の間において地区で利用されている深度25mの共同井戸（KS-Dw、幼稚園横）や、現在は利用されていないが、KS-10の左岸側の井戸がある（KS-10w）。さらに、下流側にも左岸の山すそに点在している。

## 5-2. 地下水流動速度

地下水の流動速度は、地盤の透水性（飽和透水係数）と地下水面勾配との積で表される。ここでは、各流域とも粗粒な砂質堆積物からなると仮定し、堆積物中の飽和透水係数はDomenico and Schwartz (1990)から0.01cm/secとした。表2に、下蒲刈における井戸の地下水面標高の分布から見積もった、地下水流動方向（地下水面標高の低い方向へ移動）と流動速度の結果を示す。日単位の移動速度（上段）はm/dayで、年単位の移動速度はmm/yearで示した。なお、年単位の速度は、日単位の移動速度を年換算した値に、井戸の掘削深度と氾濫原の幅から推定される地下水の通過断面積を掛け、流域面積で除したものである。

地下水と河川との交流状況については、3地点で見積もった。急傾斜地が迫るKS-7では、地下水は河川へ流出する傾向を示す。一方、KS-8及びKS-10では、河川水は地下水へ漏水する傾向を示す。先に示した河川流量の変動と調和的である。

地下水の海洋への流出量については、堆積岩河

表3 堆積岩流域における河川流出と地下水流出の配分

	qr	qg
2002年*	169	115
Max.6月**	42.9	9.6
Min.10月**	1.1	9.6

\*;単位は(mm/year)、\*\*;単位は(mm/month)  
qrは河川流出量、qgは地下水流出量

川流域における扇状地の浅層地下水と深層地下水および急傾斜な三之瀬流域でそれぞれ見積もった。その結果、堆積岩河川流域では、年間110mm程度の流出が、急傾斜流域では、年間500mm程度の流出が見積もられ、流動速度としては、急傾斜な三之瀬地区の方が大きいことが示された。以上の点からも、三之瀬地区における水資源として、地下水が有用であるといえる。ただし、移動量という絶対値（流域面積を掛けた値）では、流域面積が20倍ある堆積岩河川流域の方が多くなる。

また、堆積岩河川流域における河川流出量と地下水流出量とを比較する（表3）。水資源として利用可能な河川水は、洪水時の短期的に排水される量は含まれない。そこで、前述した2002年における3回の最下流地点での計測結果から、降水量を加味して加重平均値を見積もると年間で169mmとなる。地下水流出量が115mmであり、地下水のほぼ1.4倍の量が河川から流出していることになる。この結果は、河川を水資源として利用することの有効性を示す。ただし、2002年の降水量は900mmであり、蒸発散量が降水量の5割の450mmと仮定すると、洪水で流出した分は166mmとなり、平水時の河川流出量に匹敵する分を損失していることになる。これらの傾向は、降水量が多い年において、より顕著になると考えられる。

また、月単位で比較した場合、地下水流出量はほとんど季節変化がないが、河川流出量は大きな

変化を示す。最大月には、地下水の4倍も流出しているのに対して、最小月には地下水のわずか10%程度になる。この結果から、降水量の季節的なコントラストは、河川流量の変動に直接影響するのに対して、最下流の地下水には大きな影響を与えていないことが示された。すなわち、河川を水資源として使用するには、安定性の点で十分ではないことが示された。

### 5-3. 地下水による窒素流出

地下水の硝酸性窒素汚染は、肥料の溶脱や生活排水の流入により進行する。下蒲刈島では、下水道設備が完備しているわけでもなく、肥料を大量に必要とする柑橘系果樹園も広く分布し、安定した水資源として利用価値の高い地下水は、汚染という危機にさらされている。一方で、地下水流動にともない、地下水中の硝酸性窒素濃度は脱窒などの微生物による分解作用を受ける (Burt et al., 1993)。脱窒作用は無酸素、いわゆる還元環境下で活発に作用する。この作用を受ければ、硝酸性窒素濃度は低下する。

図6に、地下水計測地点の地表面標高及び地下水面の深度と地下水中の硝酸性窒素濃度の関係を示す。本地域における地下水の硝酸性窒素濃度は、測定した範囲では水道水源の基準値 ( $10\text{mg l}^{-1}$ ) 以下となっている。ただし、自然環境下では  $1\text{mg l}^{-1}$  以下であるため、汚染の影響はみられる。標高16mの傾斜地 (Kw4) が最も濃度が高く、堆積岩流域では地下水面の深度が深い扇頂部付近 (KS-8w) が最も濃度が高い。図中には、深井戸 (KS-Dw) を分けて示し、また、浅井戸については近似直線を示した。全体の傾向としては、地点の地表面標高が低下するとともに濃度は低下し、同様に、地下水面までの深度が浅くなれば濃度が低下する傾向を示す。一般に、地表面標高が低下するという事は、下流に向かうこと、海に近づくことを意味する。また、地下水面は河川や海面に規定されるので、標高が低く下流に向かうほど地下水面までの深度は浅くなる傾向を示す。これらの結果から、下流域で脱窒による硝酸性窒素の分解の影響があるか、あるいは低濃度の水

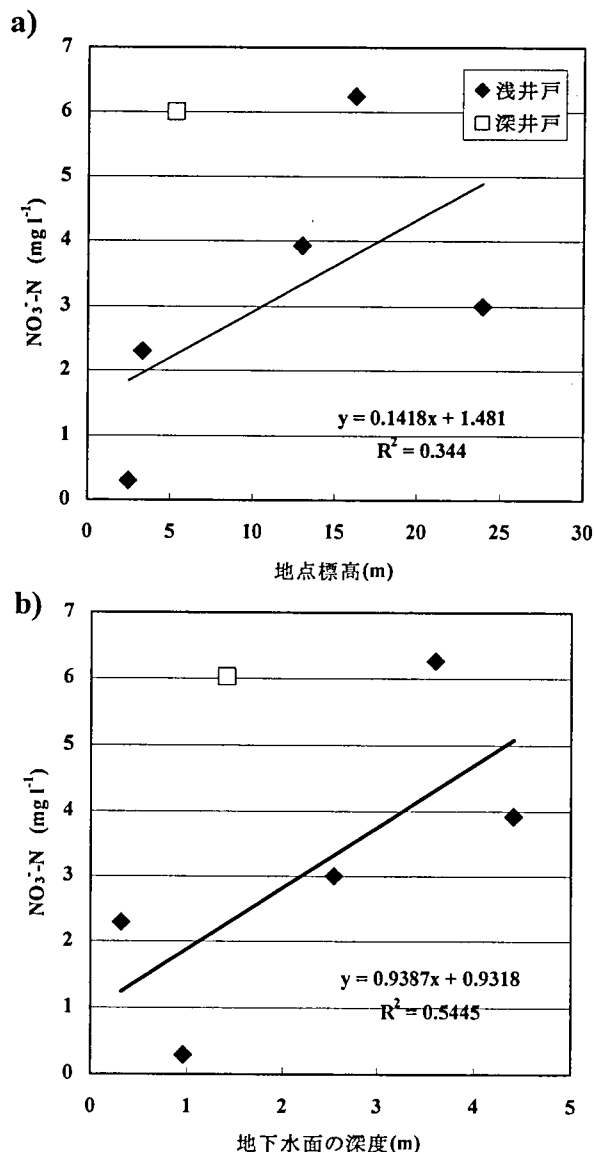


図6 地下水計測地点の地表面標高及び地下水面の深度と地下水中の硝酸性窒素濃度の関係  
データは2002年10月のもの

による希釈の影響が考えられる。

堆積岩流域の果樹園面積率は、下流ほど高くなっており (表1)、低濃度の水によって希釈される可能性は、海水以外にないと考えられる。しかし、沿岸域の地下水中の塩素イオン濃度は、 $12\text{mg l}^{-1} \sim 25\text{mg l}^{-1}$ であり、海水の地下水への寄与率は0.1%程度とほとんどないことが明らかである。一方、地下水面が浅くなればなるほど、酸素を含んだ地表からの水の浸入するスペースが少なくなり、還元環境になりやすい。また、下流域まで流動してきた地下水は、流動の過程で酸素を消費してくるため、還元化しやすい。以上から、よ



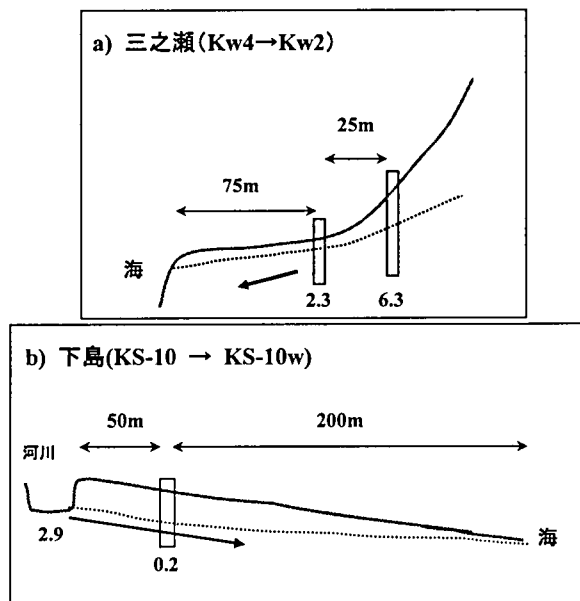


図7 a) 三之瀬、b) 下島地区沿岸域における海までの地形断面及び地下水断面。図中の数字は硝酸性窒素濃度を示す。矢印は流動方向を示す。データは2002年10月のもの。

り下流の浅い地下水面のところで、硝酸性窒素が浄化されていることが示唆される。

図7に、三之瀬地区及び下島地区における沿岸域の模式的な海までの地形及び地下水断面を示す。図中には2002年10月に測定された硝酸性窒素濃度を示した。下島地区における沿岸域の最下流での井戸（KS-10w、地点標高2.5m）は、河川扇状地の中部にあたり、海水が入り込む汽水域までは200m以上ある。また、この地下水には、河川との交流のところで記述してきたように、河川水が流入してきている。硝酸性窒素濃度は、河川の濃度が $2.9\text{mg l}^{-1}$ あったのに対して、わずか50m流動する過程で著しく低下している。さらに、2002年10月以外の3月及び6月の測定では、河川の濃度が $8\text{mg l}^{-1}$ と高かったにもかかわらず、地下水中の濃度は同様の傾向を示した。

ここで、この50mの区間の浄化速度を計算する。ここでの地下水の流動速度は $0.14\text{m/day}$ （表2）である。また、実際に水が通過できる地下の間隙率が0.2とすると、50mのうち実際に水が移動するのは $10\text{m}$ （ $=50 \times 0.2$ ）である。そこで、10mの正味の移動距離を移動速度で除すと、移動時間は71日と見積もられる。よって、浄化速度は $0.04 \sim$

$0.1\text{mg l}^{-1}/\text{day}$ と見積もられる。

また、この結果は、堆積岩流域での地下水による海洋への窒素流出はほとんどないことを意味する。このような、沿岸域における窒素の浄化過程は、他の地域でも確認されている（Onodera et al., 2004；Saito et al., 2004）。ただし、図7に示した三之瀬の結果は注意を要する。ここは、急傾斜地であり、前述したように地下水流動速度は、堆積岩河川流域の5倍に達する。そのため、脱窒による浄化を十分に受ける前に海へ流出してしまう可能性がある。ここでは、海岸から75mの沿岸域においても、地下水の硝酸性窒素濃度は、 $2.3\text{mg l}^{-1}$ であり、海への窒素流出が示唆される。さらに、Kw2よりも急傾斜になっている、海岸から50mの井戸（Kw1）及び25mの井戸（Kw3）では、それぞれ濃度が $3.6\text{mg l}^{-1}$ 、 $9.0\text{mg l}^{-1}$ であり、海に対してさらに多くの窒素流出が示唆される。

## 6. まとめ

瀬戸内流域は、年降水量も少なく温暖で、柑橘類の栽培には適しているため、果樹園が広く分布している。その一方で、降雨が梅雨期に集中するため夏季には水不足に見舞われることもしばしばあり、その対策としてため池や地下水が利用されてきた。また、柑橘系栽培には大量の肥料が必要で、その一部は水に溶け出し水質汚染を引き起こしてきた。以上のように果樹栽培は、水資源を必要とする一方で、水環境に負荷を与えてきた。本論では、瀬戸内流域の水環境に対する果樹園立地の影響を明らかにすることを目的とし、下蒲刈島を例に、議論を行った。その結果は、下記の通りである。

- 1) 流域の河川流出は、源流部の山地流域から下流の扇状地に至るまでは増加するが、扇状地では地下水に漏水する傾向を示し、水資源としては、河川水より地下水が有用であることが確認された。
- 2) 斜面に立地する果樹園で散布された肥料の一部は、斜面地下水を通して河川に流出し、河川中の溶存窒素濃度を上昇させていた。結果的

に、増水期には、河川を通じて海洋に負荷を与えていることが明らかになった。

3) 扇状地においては、河川水の一部が地下に漏水し、それにもない扇状地の地下水を汚染していた。しかし、海岸付近の地下水では、溶存窒素濃度はほとんど検出されなかった。結果として、地下水で浄化されていることが確認された。すなわち、地下水を通しては海洋に対して窒素を負荷していないことが明らかになった。今後は、島スケールで物質収支計算を行い、海洋を含む水環境への影響を議論していくことが必要である。

## 謝 辞

本稿にあたり旧下蒲刈町役場には雨量データを提供していただき、旧下蒲刈町教育委員会の新谷さおりさんには、さまざまな便宜を図っていただいた。記して感謝の意を表します。

## 引用文献

- Burt, T.P., Heathwaite, A.L. and Trudgill, S.T. (1993) *Nitrate: Processes, Patterns and Management*, John Wiley & Sons, Chichester, 444pp.
- Domenico, A. D. and Schwartz, F. W. (1990) *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley & Sons, Chichester, 824pp.
- 東元定雄・松浦浩久・水野清秀・河田清雄(1985) 呉地域の地質, 地域地質研究報告 5 万分の 1 図幅, 高知 (13) 第14号.
- 西宗直之・小野寺真一・成岡朋弘 (2001) 花崗岩山地溪流における河床形態に関する研究—広島県黒瀬川源流の例—, 広島大学総合科学部紀要 IV, 27, 119-128.
- 小野寺真一 (1999) 多摩川最上流域における水質形成に及ぼす立地環境の影響の解明, とうきゅう環境浄化財団, No.204, 136p.
- 小野寺真一・成岡朋弘 (2002) 広島県瀬戸内海沿岸域の降雨特性—降雨時間帯、季節性、降雨強度—, 広島大学総合科学部紀要 IV, 28, 61-68.
- Onodera, S., Saito, M., Takei, T., and Hayashi, M. (2004) Effects of rainfall and land use on nitrate transport of coastal groundwater in western Japan, Proc. 33rd Con. Int. Ass. Hydrogeologist, 2004.
- 齋藤光代・小野寺真一・竹井務・西宗直之 (2002) : 瀬戸内海沿岸小河川における硝酸性窒素負荷量—果樹園面積・溜池・扇状地の効果—, 広島大学総合科学部紀要 IV 理系編, 28, 77-84.
- 齋藤光代・小野寺真一・吉田浩二・峯孝樹・林政輝・重枝豊実 (2004) : 広島県主要河川流域における栄養塩流出の特性, 広島大学総合科学部紀要 IV 理系編, 30, 97-105.
- 齋藤光代・小野寺真一・竹井務 (2005) 沿岸扇状地小流域における硝酸性窒素流出過程, 陸水学雑誌, 66, 1-10.
- Saito, M. and Onodera, S. (2004): Nitrate emission process in a coastal agricultural catchment, SouthWestern Japan, Proc. Int. Nitrogen Conference (in press)
- 田瀬則雄 (2000) 土壌層のもつ土地利用メモリー—地中水との相互作用の解明, 科学研究費補助金研究成果報告書, 77pp.
- 田淵俊雄・黒田久雄 (1991) 台地と谷津田の農業集水域の窒素流出構造—面源主体の農業集水域からの流出負荷に関する研究 (Ⅲ), 農業土木学会論文集, 154, 65-72.