

表流水の水質の空間分布特性とその評価に関する研究 - 西条盆地の250 mメッシュの地理情報による評価 -

竹井 務^{*}・小野寺 真一^{*}・成岡 朋弘^{**}・西宗 直之^{**}・齋藤 光代^{*}

^{*} 広島大学総合科学部

^{**} 広島大学生物圏科学研究科

Qualitative evaluation of surface water in Saijo basin, using the geographic information on 250m mesh map

Tsutomu TAKEI^{*}, Shin-ichi ONODERA^{*}, Tomohiro NARUOKA^{**},
Naoyuki NISHIMUNE^{**} and Mitsuyo SAITO^{*}

^{*}*Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University*

^{**}*Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University*

Abstract : To evaluate water pollution with reference to conservation of water resources in rural area, we measured electric conductivity and nitrate concentration of surface water at 65 sites in Saijyo basin. In addition, we evaluated the spatial distribution of water pollution, using geographic information on 250m mesh map. Interrelations between the altitude in geographic information and water quality were represented under three conditions, farmland in land use, lowland in landform and altitude of lower than 300m. On the basis of these relationships and geographic information, we estimated electric conductivity at the each factor on 250m mesh map. We confirmed the water pollution at the central area of the basin with the estimated 250m mesh map.

Keywords : *surface water, water pollution, geographic information*

はじめに

近年、農業地域を中心に水資源の質的な悪化が顕在化してきた(海老瀬, 1985; Burt et al., 1993; 竹内, 1995; 広瀬ら, 2001)。農地で供給される肥料、生活廃水を起源とする窒素、栄養塩類の過剰な負荷が水質悪化の主要な原因となっている(Burt et al., 1993)。持続的な水資源の利用のためには、広域の質的な評価をもとに管理していく必要がある(熊沢, 1994)。水資源の広域での変動傾向を把握するためには、負荷量や水を含めた物質の移動量が土地利用ごとに異なり(小野寺ら, 1996)、地形、地質の影響を受けて水移動が多様になる(Freeze and Cherry, 1979 など)ことを考慮する必要がある。しかし、水質モニタリングを無数の地点で行うことは予算、時間の面から見ても不可能である。したがって、地形、土地利用などの地理情報と水質との関係にある程度明瞭にした上で、地理情報と水質形成モデルを総合して水資源を評価することが有効である。これまで、同様の手法を用いて地理情報から山地流域の酸緩衝を広域にわたって推定した例(広瀬ら, 2001; 小野寺・広瀬, 2002)はある

が、盆地流域において汚染状況を推定した例はほとんどみられない。

そこで本研究では、水中の溶存物質量の指標となる電気伝導度と農村地域で顕在化している汚染物質の一つである硝酸性窒素に注目し、土地利用形態、地形分類、標高などの比較的容易に入手できる地理情報との関係を明らかにし、水資源の質的評価を広域で行うことを試みる。

研究地域及び評価手法

研究地域は広島県東広島市の西条盆地である(図1-a)。西条盆地はおよそ東西20km南北25kmのエリアからなり、標高500m級の山々に囲まれ、盆地中央部の平均標高は約200mである(図1-b)。盆地の中央部には二級河川である黒瀬川が南北方向に流れている。西条盆地の主な土地利用は農耕地で、そのほとんどが水田に利用されている。

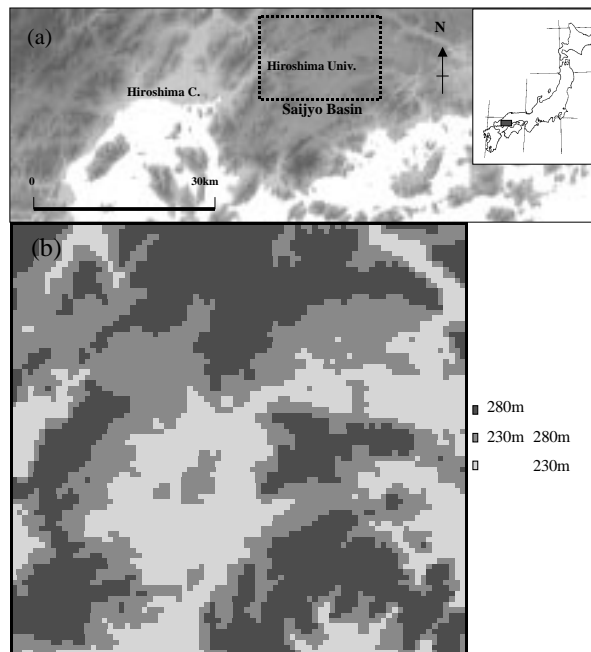


図1 (a)研究地域概要、(b)西条盆地における標高

評価の手法として以下の方法を用いた。まず、西条盆地の2万5000分の1の地形図を250mメッシュ(地図上で1cm四方)で区切る。そして各区画における代表的な土地利用と地形を地形図から判読し、区画の中心の標高を抽出する。土地利用は各区画の面積の2分の1以上を占めるものとし、水域・森林・都市・農地の4種類、地形は山地(等高線が密である)・台地(河道面より高く等高線間隔が広い)・低地(河道面と一致し等高線間隔が広い)の3種類とする。研究地域の250mメッシュにおける土地利用形態と地形分類の分布をそれぞれ図2と図3に示す。そして全6400区画の中から地域的に偏りがないようにしてランダムに65区画を選択し、各区画の代表的な地表水の電気伝導度を測定、および水のサンプリングを行った。サンプルは研究室に持ち帰りイオンクロマトグラフ(島津製作所, LC-10AD)を用いて硝酸性窒素濃度を測定した。その結果から土地利用別に標高と電気伝導度、硝酸性窒素濃度との関係を求めた。さらに地形別に標高と電気伝導度、硝酸性窒素濃度の関係を求め、土地利用形態と地形をあわせて水資源の質的評価を試みた。

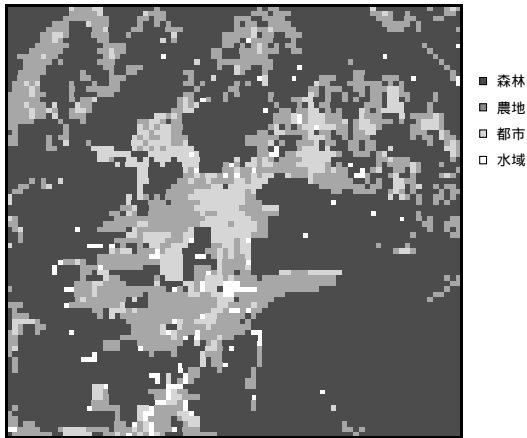


図2 西条盆地における土地利用の空間分布

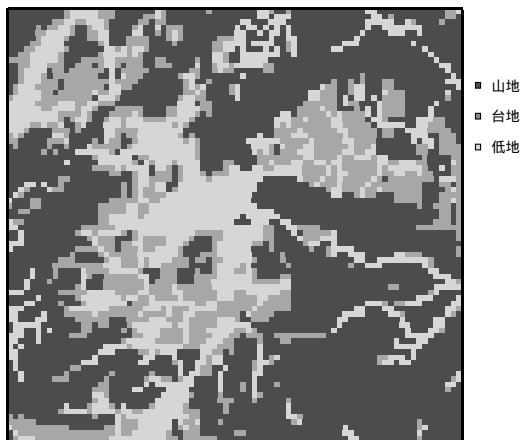


図3 西条盆地における地形分類の空間分布

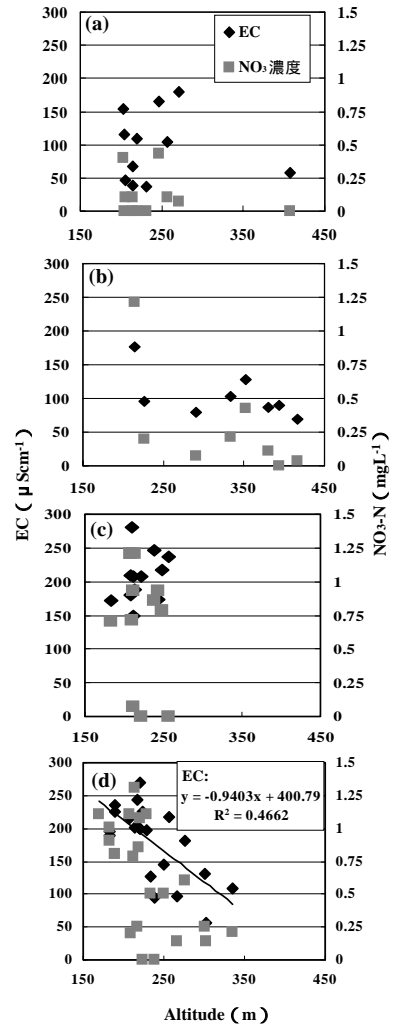


図4 土地利用ごとの標高と電気伝導度、
NO₃-N 濃度の関係
(a)水域、(b)森林、(c)都市、(d)農地

結果と考察

- 1 土地利用形態と標高と水質の意味

土地利用形態や標高は、直接読み取れる地理情報として存在する。土地利用形態は各区画において負荷量の指標となり、物質が高いところから低いところへ輸送されることから、標高は輸送ポテンシャルを示す物質移動の指標となる。また、水質を評価する指標として電気伝導度と硝酸性窒素濃度を用いた。電気伝導度を高くする要因は生活廃水などの人間活動によるものである。また、硝酸性窒素は肥料中のアンモニアが酸化するなどして生成される。そのため一般的に農耕地で硝酸性窒素濃度は高くなる。この地理情報と水質に良い相関が存在すれば広域評価はより簡単になる。

- 2 土地利用ごとの電気伝導度と硝酸性窒素濃度

水域区画では、電気伝導度が約 $40 \mu\text{Scm}^{-1}$ から $170 \mu\text{Scm}^{-1}$ と幅広い値を示し、硝酸性窒素濃度は 0.5mgL^{-1} 以下と低濃度である(図4-a)。森林区画では、ほとんどの地点で電気伝導度が $100 \mu\text{Scm}^{-1}$ 前後であり、硝酸性窒素濃度はほぼ 0.3mgL^{-1} 以下である(図4-b)。都市の区画では電気伝導度が $150 \mu\text{Scm}^{-1}$ から $300 \mu\text{Scm}^{-1}$ と高く、硝酸性窒素濃度は 1.0mgL^{-1} 前後である(図4-c)。農地区画は電気伝導度が約 $100 \mu\text{Scm}^{-1}$ から $300 \mu\text{Scm}^{-1}$ 、硝酸性窒素濃度が 0mgL^{-1} から 1.5mgL^{-1} である(図4-d)。水域、森林、都市区画では電気伝導度、硝酸性窒素濃度ともに標高との相関は見られず、農地区画においてのみ相関がみられた。

- 3 水質の評価に関する考察

今回調査を行ったすべての区画において、硝酸性窒素濃度は水質基準(10mgL^{-1} 以下)からみて 1.5mgL^{-1} 以下という低い値であった。今回の調査では研究地域内における地表水の肥料による水質汚染は確認できなかった。しかし、標高 220m 前後の農地区画では他の区画に比べると高い硝酸性窒素濃度が検出されていて、標高と硝酸性窒素濃度の間に相関がみられる。つまり、汚染とまではいえないまでも、肥料は水質に少なからず影響を及ぼしていると考えられる。加えて、過去の研究では西条盆地の地下水から 8mgL^{-1} 以上という高濃度の硝酸性窒素が検出されている(開発ら, 2001)。このように地表水からは硝酸性窒素濃度がほとんど検出されなかった点についてはサンプリングを行った時期が8月であり水田の水は少なく、春に農地で投入された肥料はすでに地下に涵養されたためと考えられる。

電気伝導度と土地利用形態の関係をみると、森林区画では人為的な影響を受けにくいいため電気伝導度は低い値を示す。集水域のほとんどが森林に覆われているような水域区画も同様である。人間活動の中心となる都市区画は高い電気伝導度を示す。しかし、都市区画は標高 200m から 250m に集中しており、標高の変化の範囲が小さいため相関を見ることができない。農地区画では標高が低くなるにつれ電気伝導度が高くなるという傾向が見られた。それにもかかわらず硝酸性窒素濃度が低いことから、それ以外の汚染物質による影響が推測される。ここで考えられるのが生活廃水の混入である。一般に生活廃水が混入すると水中の塩素濃度が高くなる(小野寺ら, 1996)ことが知られている。そこで、農地における標高と塩素濃度の関係を求め、図5に示す。これより標高と塩素濃度に相関がみられることから、本研究地域の農地区画において、標高が低くなるほど生活廃水の影響を強く受けていることが明らかである。

- 4 地形ごとの標高と水質の関係

前節まで各区画の負荷量の指標として土地利用形態を用いて議論してきたが、各区画の負荷量をより具体的に推定するためには、その区画の背後にある負荷量を考慮する必要がある。そこで、各区画の背後の負荷量を表すパラメータとして、その地点の集水面積を用いる。集水面積が大きくなればそれに応じて物質の量的、質的な変化が起こるが、小さければ直接土地利

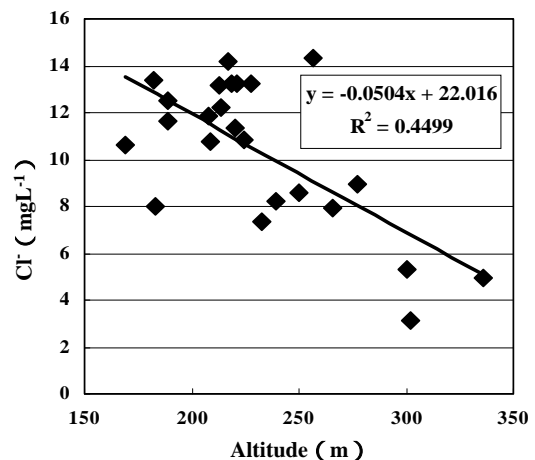


図5 農地における標高とCl⁻濃度の関係

用形態を反映すると考えられる。

そこで、各区画において集水面積を反映すると考えられる地形によって分類を行ない、地形別に標高と水質の関係を検討した。地形分類が台地や山地の場合は集水面積が背後の山に限られるため小さく、低地の場合は河川の上流部を含むため大きくなるものと考えられる。そのため、特に低地は標高が低いほど集水面積が広がる傾向をもつ。分類した地形別に標高と電気伝導度、硝酸性窒素濃度の関係を図6に示す。この結果、電気伝導度、硝酸性窒素濃度ともに低地において相関がみられた。従って低地では標高の低下、すなわち集水面積の増大にともなっての背後の負荷量が増大していることが示された。

- 5 西条盆地における水質の空間分布の評価

今回の調査では硝酸性窒素による汚染は確認できなかったため電気伝導度のみを用いて水質を評価した。ここで、土地利用別に地形との関係をみると水域は台地と低地、森林は山地と一部に低地、都市は低地、農地は台地と低地に立地している。それらを踏まえて、本研究における水質特性として以下のことを確認した。

- 都市区画の電気伝導度が一様に高い。
- 農地区画は標高が低いほど生活廃水の影響を受けて電気伝導度が高くなる。
- 同じ土地利用でも低地に立地する区画は負荷量大きい。

これより水質評価を行うために以下の操作を行う。

1. 電気伝導度を $250 \mu\text{Scm}^{-1}$ 以上、 $150 \sim 250 \mu\text{Scm}^{-1}$ 、 $50 \sim 150 \mu\text{Scm}^{-1}$ 、 $50 \mu\text{Scm}^{-1}$ 以下、に分ける。
2. 農地区画において図4-d から得られた電気伝導度分布の近似式(1)を用いて標高から電気伝導度を求める。

$$y = -0.9403x + 400.79 \quad (1)$$

3. 都市区画は今回の調査結果から都市の電気伝導度の平均値を用いて $150 \sim 250 \mu\text{Scm}^{-1}$ とする。

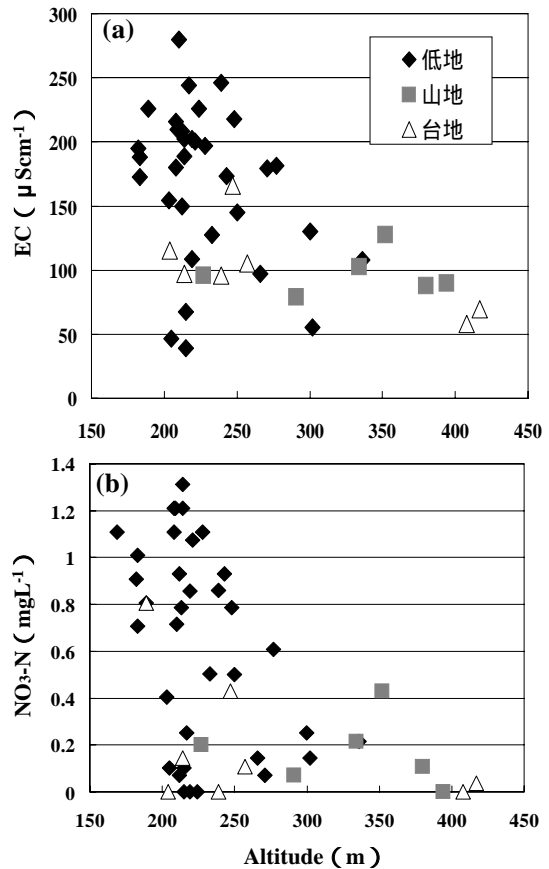


図6 (a)地形別の標高と電気伝導度の関係、(b)地形別の標高と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の関係

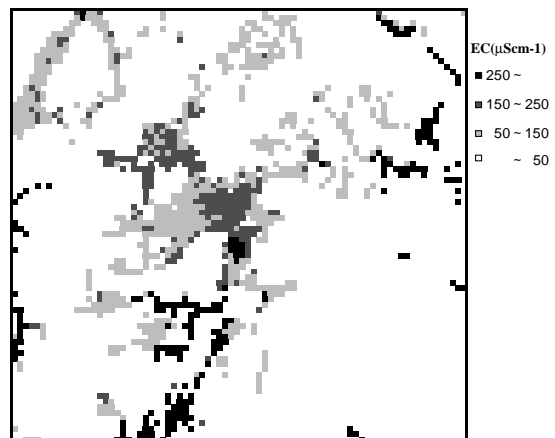


図7 西条盆地における地表水の水質分布の評価

4. 図2と図3をあわせて低地に立地する水域、森林区画を抽出し、 $50 \sim 150 \mu \text{Scm}^{-1}$ とする。

5. 上記の条件を満たさない区画は $50 \mu \text{Scm}^{-1}$ 以下とする。

こうしてできた250 mメッシュを図7に示す。この結果、本研究地域の西条盆地において黒瀬川などの河川に沿って水質の悪化が進行していることが推測できる。今後は水質としての評価にとどまらず、汚染物質の負荷量としての評価などに発展させていく必要があり、そのためには、地理情報から地表水及び地下水流動を評価するモデルを構築し、物質移動を総合して評価していくことが必要である。

まとめ

本論では西条盆地を例に地理情報と地表水の水質との関係について議論した。その結果、都市部の影響、農地の生活廃水の混入、及び低地の標高と電気伝導度との関係が確認できた。中国地方では西条盆地と同様の農業形態をもつ農村地域や、大量に肥料を使用するために硝酸性窒素による水質汚染が深刻化している瀬戸内沿岸地方の果樹園流域などで本研究の地表水の評価手法は適用可能であると考えられる。ただし、今回の調査では地表水からは硝酸性窒素は微量しか検出されなかったが、過去の研究から西条盆地の地下水中で高濃度の硝酸性窒素が検出されていることから、地表水の評価だけでは汚染の現状を十分に確認できない可能性がある。そのため、広域の水資源の評価を行うにあたって地下水との相互作用を考慮する必要がある。また、硝酸性窒素以外の汚染物質の評価についても、今後の大きな課題の一つである。

謝 辞

本研究にあたり、広島大学総合科学部の開発一郎教授に西条盆地の地下水について数多くの御助言を賜りました。記して感謝の意を表わします。

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.
- 海老瀬潜一 (1985) 降雨による土壌層から河川への NO_3^- の排出、衛生工学研究論文集、21, 48-59.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979) Groundwater, John Wiley & Sons, Chichester, 604pp.
- 広瀬 孝・小野寺真一・松本栄次 (2001) 関東山地における小流域の酸性化に関する研究 - 250mメッシュスケールを用いた空間変化と予測 -、琉球大学法文学部人間科学科紀要、8、193-204.
- 開発一郎 (2001) 西条盆地の地下水動態の四半世紀変化、地下水学会秋季公演要旨集、56-57.
- 熊沢喜久雄 (1994) 環境保全型農業における土壌肥料研究の展望、環境保全型農業シンポジウム「暖地農業における養分循環の問題点と技術的展望」、第12回土・水研究会、九州農業試験場農業環境技術研究所、1-16.
- 小野寺真一・加藤正樹・篠宮佳樹・小林政広・田中優子 (1996) 1992年から1995年までの土壌中の硝酸性窒素濃度の変動 - つくば市近郊の稲敷台地の畑地に隣接する平地林の例 -、筑波大学水理実験センター報告、21, 11-18.
- 小野寺真一・広瀬 孝 (2002) 地理情報を用いた山地流域の酸緩衝能の予測、福武財団研究助成報告書。

竹内 誠 (1995) 流域における水質保全機能の評価、農林交流センターシンポジウム「農耕地における浅層地下水等の汚染状況と今後の対策」、87-114.