

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：57501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420532

研究課題名(和文)Hyporheic exchangeによる流域水田からの栄養塩流出に関する研究

研究課題名(英文)Nitrate nitrogen release from rice paddy fields due to hyporheic exchange

研究代表者

東野 誠 (HIGASHINO, Makoto)

大分工業高等専門学校・都市・環境工学科・准教授

研究者番号：90311117

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、流域水田から河川へと流出する栄養塩に着目して、その流出過程を解明するとともに、流出量推定のための数理モデルを構築した。まず、現地調査を行い、降雨時に水田から河川へと流出する栄養塩。本研究では化学肥料の主成分の一つである硝酸性窒素( $\text{NO}_3\text{-N}$ )の動態を調べた。次に、水田土壌から流出する硝酸性窒素のフラックスは雨量強度と水田土壌の性質(土壌を構成する粒子の粒径や透水性)に関係すると考えられるので、これらの影響を表現できるようなモデルを構成した。並行して、大分川府内大橋付近において現地調査・観測、あるいはデータの収集を行い、構築したモデルの妥当性を検証した。

研究成果の概要(英文)：A model was developed for nitrate nitrogen release from rice paddy fields to the Oita River induced by raindrop impact pressure in the basin. The nitrate nitrogen release rate in the paddy fields is expressed as a function of rainfall intensity. The field measurements at Funai in the river show that nitrate nitrogen concentrations for dry weather were not much different from those for wet weather. Whereas, nitrate nitrogen loadings for wet weather were 3 to 12 times larger than those for dry weather. The modeled dependence of unit nitrate nitrogen release on the rainfall intensity agrees fairly well with observed data, validating the model.

研究分野：工学

キーワード：環境水理学 水資源 水環境

### 1. 研究開始当初の背景

河川流域の水田や畑地からの窒素やリン等の栄養塩の流出は、流域のダム・貯水池やエスチャリー、また内湾等の閉鎖性水域を富栄養化させ、プランクトンの大増殖を引き起こす。これによって、水中の溶存酸素(DO)濃度を低下させ、魚類の生息環境や生態系に甚大な影響を及ぼす。東京湾における赤潮の発生は、陸水域からの栄養塩の供給による閉鎖性内湾の水質悪化の典型的な例である。また、陸水域の幾つかのダム・貯水池においても淡水赤潮の発生等が報告されている。最近、アメリカ合衆国、ミシシッピー川においても、陸水域から供給された栄養塩がメキシコ湾の水質を悪化させていることが確認されている。ミシシッピー川は、アメリカ合衆国北部、ミネソタ州を水源とし、約4000km流れ下りメキシコ湾へと注いでいるが、メキシコ湾で発生した植物プランクトンが水源に近いミネソタ州の畑地から流出した栄養塩に起因していることが明らかになっている。

水田や畑地での化学肥料の使用は、農業生産を増大するうえで不可欠であるが、これらの化学肥料由来と考えられる栄養塩がダム・貯水池や内湾等の閉鎖性水域において、プランクトンの大増殖やそれに伴う水域の貧酸素化を引き起こしていることは疑う余地はない。したがって、このような水田や畑地から河川への栄養塩の流出量を定量的に把握することが、閉鎖性水域の水質を保全し、生態系を良好に保つ上で必要不可欠である。

上述のような水田や畑地からの栄養塩の流出は、従来、非特定汚染源(ノンポイント汚染源)として、幾つかの河川流域を対象として実測値に基づく検討が行われてきた。これらの大部分は個々の流域毎に河川流下負荷量と河川流量との関係を調べたものであり、これらの研究成果は一般性を有しているとは言い難い。水田や畑地からの栄養塩の流出は主に降雨によって引き起こされると考えられ、河川へと流出する栄養塩の流出量は雨量強度、および水田や畑地を構成する地盤の性質(土の粒径や透水性)に関係すると考えられるが、これらに関する検討例は国内外を通して皆無である。

研究代表者は、これまで砂や砂礫等の透水性材料で構成された底質内部において、底質直上の乱れ(乱流渦)の浸透によって駆動される流れ場と、それによるDOや栄養塩等の物質移動について検討を行ってきた。水域での水・底質境界面近傍でのDOや栄養塩等の物質の移動は、"Hyporheic exchange"と呼ばれ、水域水質や底質環境に重大な影響を及ぼすことが指摘されている。本研究で対象とする水田から河川への栄養塩の流出に関して、水田が田植の後、一定期間(梅雨期)水で満たされることを想起すれば、施肥された水田土壌中の栄養塩は、先ず、何らかの原因によって直上の水中へと移動し、その後、河川へと流

出すると考えられる。したがって、応募者がこれまで取り組んできた"Hyporheic exchange"の検討結果を更に発展させて水田から河川への栄養塩の流出過程の解析に適用することが可能であると期待される。

### 2. 研究の目的

前述のような背景を踏まえて、本研究では、流域水田から河川へと流出する栄養塩に着目して、その流出過程を解明するとともに、流出量推定のための数理モデルを構築することを目的とした。検討にあたって、先ず、現地調査を行い、降雨時に水田から河川へと流出する栄養塩、本研究では化学肥料の主成分の一つである硝酸性窒素( $\text{NO}_3\text{-N}$ )の動態を調べた。次に、水田土壌から流出する硝酸性窒素のフラックスは雨量強度と水田土壌の性質(土壌を構成する粒子の粒径や透水性)に関係すると考えられるので、これらの影響を表現できるようなモデルを構成した。このモデルと研究代表者によるこれまでの"Hyporheic exchange"のモデルとを対応させて、水田から流出する硝酸性窒素量を推定するためのモデルを構築した。一方、これらと並行して、研究代表者が所属する大分工業高等専門学校付近の複数の河川において現地調査・観測、あるいはデータの収集を行い、構築したモデルの妥当性を検証した。

### 3. 研究の方法

水田から河川への硝酸性窒素の流出過程のモデル化した。それにあたっては、降雨を想定して、雨滴が水面に落下したとき水面に生じる圧力変動が、水田土壌へと浸透して、内部に微弱な流れを駆動すると仮定した。この間隙水の流動に起因して、土壌内部の施肥による硝酸性窒素が直上の水中へと移動して、その後、河川に流出すると考えた。解析に際しては、研究代表者のこれまでの"Hyporheic exchange"に関する研究成果を応用した。他方、雨量強度と雨滴のサイズ、および雨滴の落下速度との関係については、Marshall & Palmer(1948)の研究成果を応用した。以上のようにして、"Hyporheic exchange"の研究成果と雨量強度、雨滴のサイズ、雨滴の落下速度に関する解析結果とを対応させて、降雨による水田から河川への硝酸性窒素流出過程を再現するためのモデルを構成した。

上述のモデル構築と並行して、水田から河川への硝酸性窒素の流出に関する現地調査・観測を実施した。現地調査は、大分県内の河川を対象として5~7月の田植の後から梅雨にかけて集中的に実施した。河川の複数の調査地点においてサンプルを採水し、水質を分析した。その際、大分工業高等専門学校に設置済みのイオンクロマトグラフ(Dionex ICS-1000)を使用した。河川流量は、国土交通省データベース(<http://www1.river.go.jp/>)より入手した。このようにして得られた河川流量

と水質分析結果より、河川流下負荷量を定量化するとともに、水田からの硝酸性窒素流出量を推定した。なお、対象とする河川流域は4~5月に現地調査を行い、土地利用形態や水田の面積等を把握した。また、雨量強度等の降雨データは気象庁のホームページ(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/index.php>)より入手し、降雨が水田からの硝酸性窒素流出に及ぼす影響を調べた。

#### 4. 研究成果

大分川での現地観測結果より、降雨時の大分川府内大橋における硝酸性窒素濃度は晴天時よりも僅かに高濃度となる傾向がみられるものの、雨天時と晴天時とで顕著な差異は認められなかった。一方、雨天時の硝酸性窒素の河川流下負荷量は晴天時のそれのおよそ3~12倍であり、降雨によって水田から流出したと思われる硝酸性窒素が観測された。このような水田からの栄養塩の流出のような非特定汚染源に関しては、L-Q式に代表されるように汚濁負荷量(L)が河川流量(Q)の関数として表現される場合が多い。そこで、調査より得られた大分川府内大橋での河川流量と硝酸性窒素流下負荷量との関係を調べた結果、検討対象地点においてもL-Q式が有効であることを確認した。

次に、構築したモデルの妥当性を検証するために、水田からの硝酸性窒素の流出フラックスの雨量強度依存性に着目し、モデルによる推定結果と実測値とを比較した。その結果、モデルは大分川での実測値を良好に再現することを確認した。このような推定値と観測地の一致は、モデルの妥当性を示すものといえよう。

#### 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6件)

Higashino,M. and Stefan,H.G. : Water temperature dynamics and heat transport in a typical Japanese river, *Environmental Earth Science*, 75: 618, 2016. (DOI: 10.1007/s12665-016-5390-2). 査読有。

横田恭平, 東野 誠 : 大分県の芹川ダムにおける水質特性について, *環境技術*, Vol.44, No.12, pp.676-684, 2015. 査読有。

東野 誠, 鬼束幸樹, 横田恭平, 古川隼士, 熊沢大地 : 南海トラフ地震による大分県佐伯市と番匠川河川環境の被害想定, *環境技術*, Vo.44, No.7, pp.42-48, 2015. 査読有。

東野 誠, 鬼束幸樹, 横田恭平, 古川隼士 : ヘドニック・アプローチを用いた津波災害リスクに対する住民意識の評価, *土木学会論文集 B1(水工学)*, Vol.71, No.4, pp.1\_1381-1\_1386, 2015. 査読有。

Higashino,M. and Stefan,H.G. : Modeling the effect of rainfall intensity on soil-water nutrient exchange in flooded rice paddies and implications for nitrate fertilizer runoff to the Oita River in Japan, *Water Resources Research*, Vol.50, issue 11, pp.8611-8624, 2014 (DOI: 10.1002/2013WR014643). 査読有。

Higashino,M. and Stefan,H.G. : Hydro-climatic Change in Japan (1906-2005): Impacts of Global Warming and Urbanization, *Air, Soil and Water Research*, 2014:7 19-34 (doi: 10.4137/ASWR. S13632). 査読有。

##### [学会発表](計10件)

曳汐雅人, 東野 誠, 横田恭平, 喜久山世航 : 降水の不飽和地盤の浸透における飽和度の影響, 平成 27 年度日本水環境学会九州支部研究発表会, p.66, 2016 年 2 月 27 日, 佐賀大学。

東野 誠, 横田恭平, 古川隼士, 鬼束幸樹 : 地価分析を用いた大分県佐伯市における津波災害リスクの評価, 平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会, -034, pp.187-188, 2015 年 3 月 7 日, 琉球大学。

東野 誠 : 不飽和地盤における物質移動に関する一考察, 平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会, -013, pp.145-146, 2015 年 3 月 7 日, 琉球大学。

相川竜成, 東野 誠, 横田恭平 : 我が国における河川水温と気温との相関関係, 平成 26 年度日本水環境学会九州支部研究発表会, p.69, 2015 年 2 月 28 日, 鹿児島高専。

清水虎南, 東野 誠, 横田恭平 : 最近の我が国の気候変動に関する一考察, 平成 26 年度日本水環境学会九州支部研究発表会, p.68, 2015 年 2 月 28 日, 鹿児島高専。

喜久山世航, 東野 誠, 横田恭平 : 不飽和地盤における水分移動過程について, 平成 26 年度日本水環境学会九州支部研究発表会, p.4, 2015 年 2 月 28 日, 鹿児島高専。

東野 誠, 糸長諒太, 川嶋建吾 : 大分川における河川水温と平衡温度の関係, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会, -047, pp.213-214, 2014 年 3 月 8 日, 福岡大学。

東野 誠, 横田恭平, 古川隼士, 鬼束幸樹, 眞矢誠一郎, 中野恵介, 多田篤史 : 大分県佐伯市における津波防災に対する住民の意識調査, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会, -046, pp.211-212, 2014 年 3 月 8 日, 福岡大学。  
横田恭平, 大塚拓哉, 東野 誠 : 溶存成分から推定した大分川における温泉水の影響について, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会, -045, pp.209-210,

