大分川におけるふん便性細菌と土地利用の相関分析

Correlation Analysis between Fecal Bacteria and Land Use Data in Oita River

平岡 透*・高見 徹*・古川 隼士*・野中 尋史**

Toru HIRAOKA, Toru TAKAMI

Takashi FURUKAWA and Hirofumi NONAKA

Abstract : We analyze and evaluate a correlation between fecal bacteria (*Escherichia coli*, fecal indicator bacteria and enterococci) and land use data for each month in the Oita River Basin. In these calculations, we consider the optimal range based on land use data from the observation points of the fecal bacteria. As a result of the analysis, we found that the correlation of agricultural land expect rice field is high in land use, and the correlations of the fecal bacteria are high in the case of using land use data from 400 to 500 m radius.

Keywords : 土地利用, ふん便性細菌, 相関分析

1. はじめに

河川は水遊びや釣りなどの親水空間として利用され、河川水は農業用水、工業用水、水道用水、雑用水などとして利用されていることから、河川水の汚染は人の健康にとって極めて深刻なリスクとなる可能性があり、実際に重金属や農薬、有機塩素化合物などの他にふん便性細菌による河川水の汚染が大きな問題となっている(大瀧, 2001; 金子, 2006)。そのため、日本では環境基準における衛生指標として大腸菌群が採用されており、関係省庁の国土交通省において毎年一級河川の大腸菌群数のモニタリングが行われている(国土交通省, 2014)。また、大腸菌群の発生源の追跡も重要な課題であるため、課題解決のための基礎調査として大腸菌群数と土地利用の相関分析を行う研究も行われている(平岡ら, 2014)。しかしながら、大腸菌群には自然由来の細菌も多く含まれているため、環境省では大腸菌を新たな環境基準として採用することが検討されている(環境省, 2011)。大腸菌は、動物の腸

管内に常在する腸内細菌群の一つであり、自然界では増殖できないため、河川や湖沼などの公共用水におけるふん便汚染の指標の一つとして有望視されている。

そこで本稿では、環境基準の変更を踏まえて、病原性微生物による水系感染のリスクの指標として、欧米を中心に広く用いられているふん便性細菌群の大腸菌、ふん便性大腸菌、腸球菌を対象に大分県を流れる一級河川である大分川において調査を実施し、各細菌数と土地利用の相関分析を行う。大分川でのこれらのふん便性細菌の調査の結果は、筆者らが既に報告している(古川ら, 2015)。古川らの文献(2015)のふん便性細菌数を用いて土地利用との相関分析を行った。土地利用の項目として、田、田以外の農用地、森林、建物用地、河川地・湖沼の5項目を取り上げた。さらに、土地利用データとしてふん便性細菌の観測地点から任意の半径に含まれる土地利用の割合を用いるが、ふん便性細菌数との相関が高くなる半径も調べた。本研究の成果は、2006年11月に国土交通省によって策定された大分川水系河川整備計画(国土交通省九州地方整備局, 2006)を将来変更するにあたり、大腸菌数の数値目標を定めるための基礎資料になると考えられる。また、大腸菌数、ふん便性大腸菌群数、腸球菌数と土地利用の関係が明らかになれば、ふん便性細菌による発

* 大分工業高等専門学校

**長岡技術科学大学

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 55, NO. 1, 2016

生源の追跡における特定範囲を絞り込むことが可能となり、将来の健全な水循環を考慮した流域計画のための基礎資料になるとも考えられる。

2. 調査方法

2.1 調査対象

本研究では、大分県を流れる大分川を調査フィールドとする。大分川は、その源を大分県由布市湯布院町の由布岳（標高1,583m）に発し、由布院盆地を貫流し、阿蘇野川や芹川などを合わせて中流の渓谷部を流下し、由布市狭間町において大分平野に入り、賀来川と七瀬川を合わせて、大分市豊海において別府湾に注ぐ、幹川流路延長55km、流域面積650km²の一級河川である。大分川流域の土地利用は、山地などが約84%、水田や畑地などの農地が約11%、宅地などの市街地が約5%である。大分川および支川の大分管理区間における河川水の利用状況（許可水利権平成17年3月現在）は、農業用水1.247m³/s、工業用水0.174m³/s、水道用水1.250m³/s、雑用水0.028m³/sであり、大分市の水道用水は大分川に大きく依存している。

本研究では、ふん便性細菌として大腸菌、ふん便性大腸菌群、腸球菌を取り上げる。以下、ふん便性細菌と言えは、大腸菌、ふん便性大腸菌群、腸球菌を指すことにする。ふん便性細菌は、図1に示す大分川の17地点で観測を行った。観測地点は、上流から下流に向かって1から17と番号付けた。17地点において、2013年12月から2014年11月に毎月一回の合計12回の観測を行った。ふん便性細菌数の測定方法などの詳細は、古川らの文献（2015）を参照されたい。

2.2 相関分析の方法

大腸菌数、ふん便性大腸菌群数、腸球菌数と相関分

図1 病原性細菌の観測地点

析を行う土地利用区分として、田、田以外の農用地、森林、建物用地、河川地・湖沼の5項目を取り上げた。土地利用のデータは、国土数値情報土地利用細分メッシュデータ（国土交通省国土政策局国土情報課，2014）を用いた。国土数値情報土地利用細分メッシュデータは、3次メッシュを東西および南北方向に10分割した100mメッシュ毎に土地利用区分を整備したものであり、実験では2009年時点のものを用いた。各土地利用データは、各観測地点において任意の半径に含まれる割合とした。半径は、300m、400m、500m、600m、700mの5通りで実験を行った。ふん便性細菌数は季節によって大きく変動するが、土地利用は数年で大きく変動することは少ないと考えられるため、ふん便性細菌数と土地利用の相関分析は月ごとに行った。

具体的なふん便性細菌数と土地利用の相関分析の方法を次に示す。 $m(=1, 2, \dots, 12)$ 番目の月に $n(=1, 2, \dots, 17)$ 番目の地点で観測された大腸菌数 ($k=1$)、ふん便性大腸菌群数 ($k=2$)、腸球菌数 ($k=3$) をそれぞれ $T_{k,m,n}(k=1, 2, 3)$ [MPN/100mL] とする。また、 n 地点から半径 d [m] 以内に含まれる各土地利用区分（田 ($l=1$)、田以外の農用地 ($l=2$)、森林 ($l=3$)、建物用地 ($l=4$)、河川地・湖沼 ($l=5$)）の割合をそれぞれ $L_{l,n,d}(l=1, 2, \dots, 5)$ [%] とする。 m 番目の月の各ふん便性細菌数 $T_{k,m,n}$ と半径 d における各土地利用区分の割合 $L_{l,n,d}$ の平均をそれぞれ $\bar{T}_{k,m}$ と $\bar{L}_{l,d}$ とすると、相関係数 $E_{k,l,m,d}$ は、以下の式で求まる。

$$E_{k,l,m,d} = \frac{\sum_{n=1}^{17} (T_{k,m,n} - \bar{T}_{k,m})(L_{l,n,d} - \bar{L}_{l,d})}{\sqrt{\sum_{n=1}^{17} (T_{k,m,n} - \bar{T}_{k,m})^2} \sqrt{\sum_{n=1}^{17} (L_{l,n,d} - \bar{L}_{l,d})^2}} \quad (1)$$

3. 調査結果と考察

3.1 病原性細菌数の測定結果と考察

大腸菌数、ふん便性大腸菌群数、腸球菌数を測定した結果をそれぞれ図2から図4に示す。図2から図4の縦軸がふん便性細菌数[MPN/100mL]、横軸が地点番号である。図2より、上流ほど大腸菌数が多い傾向があることがわかる。図3より、上流ほどふん便性大腸菌群数が多い傾向があることがわかる。また、12月における地点8、地点9、地点11のふん便性大腸

図2 各観測地点の大腸菌数

図3 各観測地点のふん便性大腸菌群数

図4 各観測地点の腸球菌数

菌群数が極端に多くなっていることがわかるが、この理由を現地調査や複数年の観測によって調べる必要がある。図4より、上流ほど腸球菌数が多く、4月から8月に腸球菌数が多くなる傾向があることがわかる。全体的に、上流ほどふん便性細菌数が多く、特に地点1と地点2でふん便性細菌数が多くなる傾向があることがわかる。

3.2 相関分析の結果と考察

まず、大腸菌数、ふん便性大腸菌群数、腸球菌数に対して、2013年12月から2014年11月の月ごとに相関分析をそれぞれ行った。このとき、田、田以外の農用地、森林、建物用地、河川地・湖沼の5項目の土地利用区

分の割合は、半径 d を後の実験で比較的高い相関が得られた400mとして求めた。大腸菌数、ふん便性大腸菌群数、腸球菌数と土地利用との相関分析の結果をそれぞれ図5から図7に示す。図5から図7の縦軸が相関係数、横軸が年月である。図5より、大腸菌数と田以外の農用地に一年を通して比較的高い正の相関があり、特に12月から5月の間に正の相関が高くなることがわかる。また、5月から10月の大腸菌数と建物用地に比較的高い正の相関が、6月から10月大腸菌数と河川・湖沼に比較的高い負の相関があることがわかる。図6より、3月、4月、11月のふん便性大腸菌群数と田以外の農用地に高い正の相関を示しているが、その他にふん便性大腸菌群数と相関のあるような土地利用

図5 大腸菌数と土地利用の相関係数

図6 ふん便性大腸菌群数と土地利用の相関係数

図7 腸球菌数と土地利用の相関係数

区分はない。図7より、腸球菌数と田に一年を通して比較的高い正の相関があることがわかる。また、11月から5月の腸球菌数と田以外の農用地に高い正の相関が、6月から3月の腸球菌数と河川・湖沼に高い負の相関があることがわかる。全体的に、冬場のふん便性細菌と田以外の用地に比較的高い正の相関を示す傾向があることがわかる。この理由として、ふん便性細菌数が比較的多い上流部の地点2の田以外の農用地の割合は半径 d が400m の場合で6.4%、ふん便性細菌の少ない最下流部の地点17の田以外の農用地は半径 d が400m の場合で存在しなかったように、上流部の農村地域でふん便性細菌数が多く、下流部の都市部でふん便性細菌数が少なく測定されたことに起因すると考える。地点2は温泉地である由布市湯布院町であり、温泉水や温泉排水の流入がこのような傾向を示す要因になったと推測する。

次に、半径 d を300m, 400m, 500m, 600m, 700m と変えて、比較的高い正の相関を示した2月の大腸菌数、3月のふん便性大腸菌群数、2月の腸球菌数と田以外の農用地との相関分析を行った。この結果を図8に示す。図8の縦軸が相関係数、横軸が半径 d [m] である。図8より、半径 d が400m から500m で比較的高い相関を示すことがわかる。

最後に、半径 d が400m の場合で、2月の大腸菌数、3月のふん便性大腸菌群数、2月の腸球菌数と田以外の農用地との相関分析の t 検定を行った。この結果得られた大腸菌数、ふん便性大腸菌群数、腸球菌数の t 値は、それぞれ7.3, 8.7, 12.9であった。有意水準0.1%で t 検定を行った場合、基準となる t 値は4.1であり、各ふん便性細菌数の t 値はいずれも4.1より大きいので、有意水準0.1%でふん便性細菌数と田以外の農用地に相関関係があるといえる。

図8 半径 d による相関係数

4. おわりに

大分川の大腸菌、ふん便性大腸菌群、腸球菌のふん便性細菌を調査し、ふん便性細菌数と土地利用の相関分析を行った。相関分析の結果、冬場のふん便性細菌数と田以外の農用地に比較的高い正の相関を示す傾向があることがわかった。この理由は、大分川上流の温泉地での温泉水と温泉排水の影響を受けているためであると推測する。また、半径が400m から500m に含まれる田以外の農用地の割合を用いた場合に、ふん便性細菌数と比較的高い相関を示すこともわかった。この理由は、堆肥などに存在するふん便性細菌の影響があるのではないかと推測する。

今回はふん便性細菌を1年間観測して相関分析を行ったが、ふん便性細菌を複数年観測データを増やして相関分析を行うことが今後の課題である。また、12月における地点8、地点9、地点11のふん便性大腸菌群数が極端に多くなっている理由を現地調査や複数年の観測によって調べることも今後の課題である。環境省では大腸菌を新たな環境基準として採用することが検討されており、大腸菌などのふん便性細菌と土地利用の相関分析を行うことで、ふん便性細菌の発生源の追跡に役立つと考えられる。

(受付日2015.12.14, 受理日2016.1.7)

参考文献

- 大瀧雅寛, 2001. 水環境における病原微生物の実態と水質基準, 生活工学研究, Vol. 3, No. 2, pp.162-169.
- 金子光美, 2006. 水の安全性と病原性微生物—その歴史と現状, そして未来, モダンメディア, Vol. 52, No. 3, pp.76-82.
- 国土交通省, 2014. 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp>.
- 平岡 透, 野中尋史, 2014. 大腸菌群数と土地利用の相関分析, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 53, No. 2, pp.62-66.
- 環境省, 2011. 今後の取組の進め方について, <https://www.env.go.jp/water/conf/fpwq/torimatome2/04.pdf>.
- 古川隼士, 野中尋史, 平岡 透, 高見 徹, 亀野辰三, 2015. 大分川におけるふん便性汚染に関する細菌学的調査, 水環境学会誌, Vol. 38, No. 6, pp.173-180.

国土交通省九州地方整備局，2006. 大分川水系河川整備計画，<http://www.qsr.mlit.go.jp/oita/kasen-seibi/h18.10/honbun.pdf>.

国土交通省国土政策局国土情報課，2014. GIS ホームページ，<http://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/gis/index.html>.