

氏名（本籍）	日野 良太（大阪府）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第93号
学位授与日付	平成31年3月25日
専攻	システム工学専攻
学位論文題目	紀の川の栄養塩類濃度特性に関する数値解析的研究
学位論文審査委員	(主査) 教授 江種 伸之 (副査) 教授 井伊 博行 教授 吉田 登

論文内容の要旨

本研究の対象地域である和歌山県北部と奈良県南部を流れる紀の川流域における河川中の窒素，リンなどの栄養塩類濃度や河川流量などの管理に係わる水環境マネジメントが重要となる。そのため，紀の川での栄養塩類濃度に関する課題を整理し，原因分析および対策案の検討を行った。以下に諸問題の具体的内容を示す。

河川管理者らによる1990年代後半以降の定期モニタリングおよび著者らの2000年以降の現地調査で確認されている紀の川流域における栄養塩類濃度の特性としては，(1)果樹園が広く分布する支川の柘榴川流域で毎年10月から4月に見られるTN濃度の上昇，(2)紀の川本川の中流域において1990年代後半から2000年代前半に観測されたTP濃度の大きな上昇，(3)紀の川本川の上流域において問題が顕著となっている河川中の植物プランクトン増殖に伴う水道水の異臭味問題がある。

第4章では，果樹園 TN・TP 原単位の算出及び有効性について述べた。果樹園からの TN・TP 排出負荷量が多くを占めている紀の川流域では，対象地域に合った果樹園の負荷特性を把握する必要がある。そこで，既存のデータを得ることができれば算出が可能である流域内における園地内の物質収支からの果樹園 TN・TP 原単位の算出した。その結果，TN は流域平均で $6,362\sim 11,206\text{kg/year/km}^2$ となり，TP は流域平均で 186kg/year/km^2 となった。今回算出した TN・TP 原単位の有効性として，インプット量に流域内の施肥量を用いているため，施肥量管理による栄養塩類の流出抑制効果の検討が容易である。

そして，今回検討した方法の有用性としては，施肥量に応じた TN・TP 原単位を簡便に算出できることである。和歌山市を除いた2003年の TN 排出負荷量解析結果では，施肥量を10%削減した場合には果樹園の TN 排出負荷量は25%減り，全体に占める割合も30%から25%にまで減少することが示された。

第5章では，紀の川流域の栄養塩類濃度特性の1つである，農業活動が盛んな紀の川流域の中でも特に果樹園が広く分布する柘榴川流域を対象として，果樹園からの肥料流出に伴う河川水質特性について分布型水文流出モデルを利用した数値解析により TN 負荷特性および河川水質特性を考察した。樹園地内の窒素収支に基づいた方法により果樹園の TN 原単位を算出したため，年単位だけでなく，月単位の TN 原単位も算出可能であり，年単位と月単位の TN 濃度解析値を実測値に概ね再現できた。今回のモデル解析により，果樹園の TN 原単位は非常に大きく，流域の3分の1を果樹園が占める柘榴川流域では，果樹園からの TN 排出負荷量が総 TN 排出負荷量の約8割になることが示された。また，河川への TN 流達負荷量は，水流出量と土中窒素量の影響を受け，降水量や果樹園への施肥量の多い10月から4月まで多く，河川水質も TN 流達負荷量と同様に変動することが示された。このような水質変化の傾向は，野外調査でも得られており，柘榴川の TN 濃度変化は，果樹園からの肥料流出によって引き起こされている可能性が非常に高いことが示された。

第6章では，紀の川流域における栄養塩類濃度特性の2点目として，既存の水質モニタリングデータに見られる特徴的な傾向である中流域における1990年代後半の TP 濃度の

きな上昇を取り上げ、その要因を排出負荷量解析および河川水質解析により考察した。排出負荷量解析では、産業系、生活系、果樹園の3つで総TP排出負荷量の大部分を占め、特に産業系が一番多いことが示された。さらに、産業系の中では家具・装備品、繊維工業、および化学工業の割合が大きいこと、2000年以降は出荷額の減少および第5次水質総量規制の導入により産業系TP排出負荷量が1990年代後半より約50%減少したことも示された。このうち38%分が出荷額の減少、12%分が水質総量規制の導入によるものであった。また、河川水質解析は簡単な定常一次元モデルで行ったが、排出負荷量解析結果をTP外部負荷量として用いることで無降雨日の実測値を概ね再現することができた。これより、紀の川中流域のTP濃度は流域からのTP外部負荷量と流量の影響を受けやすく、TP濃度管理では両者を考慮することが重要であることが示された。

第7章と第8章では、水道水の異臭味問題の解決について考察した。紀の川全域の中でも異臭味問題が深刻な地域は、奈良県の五條市付近の上流部であった。既存のモニタリングデータを用いて異臭味問題の原因物質である2-MIBと栄養塩類濃度や流量、水温との相関について検討した。その結果、2-MIB濃度が高くなる条件としては、低流量であること、夏と冬に特に高い2-MIB濃度を示す傾向があった。栄養塩類濃度は、年間通して富栄養化基準であるTN:0.2mg/L、TP:0.02mg/Lを超過している調査日が多いことを確認した。なお、藍藻類の優占率に影響する因子は、TPが特に重要であり、季節に関係なくTP濃度が富栄養化基準の0.02mg/Lを超過した場合に2-MIB濃度が高くなる傾向が見られることから、TPを対象物質とした。

第7章では、物質負荷量解析の結果より生活系と産業系で8割以上を占めていることが示された。また、河川水質解析より、対象区間の標準的なTP濃度が富栄養化基準(0.02mg/L)を上回る河川環境にあることが示された。そこで、流域からのTP負荷量を管理することによるTP濃度の低減効果を確認した。感度解析を実施したところ、TP負荷量30%、50%削減でTP濃度を0.02mg/L、0.015mg/Lまで抑制でき、TP負荷量削減がTP濃度上昇抑制に一定の効果があることが示された。

第8章では、TP負荷量抑制効果と対象地域内の下流域首工の取水量適正利用による河川流量の回復案を考察するために、分布型水文流出モデルを用いた水流出解析とマクロモデルを用いた流達負荷量解析を組み込んだ。その結果、灌漑期のみを抜粋すると46%の濃度減少があり、その内の41%が負荷量削減効果、5%が流量の回復効果であった。TP濃度抑制効果によって、日単位では0.01mg/Lまで濃度低下できると示された。さらに、TP濃度が0.02mg/Lを下回ると2-MIB濃度の上昇抑制を行うことが可能であると示された。

しかし、TP排出負荷量削減及び取水量削減に伴う河川流量の管理のみでは、水の異臭味問題が生じないレベルまでTP濃度を低下させるには限界があることが明らかになった。したがって、水道水の異臭味問題の解決には、栄養塩濃度管理に河川流量管理など他の方法を組み合わせて総合的に取り組むことが望まれる。

論文審査の結果の要旨

流域水管理においては、治水と利水だけでなく、水質や水辺生態系の保全といった環境面が重視される。そして、このような環境面においては、栄養塩類である窒素とリンの管理が重要となる。本研究は、紀の川流域を対象にして、河川水中の栄養塩類の濃度特性の解明を数値解析により行っている。具体的には、果樹栽培が盛んな支川流域からの肥料成分の流出が河川水中の全窒素濃度に影響を与えていたこと、一時期全リン濃度が急上昇していた紀の川中流部の濃度は産業系負荷の影響を大きく受けていたこと、ならびに水道水の異臭味が問題となっている紀の川上流部における全リン濃度は生活系と産業系の負荷の影響を受けており、それらの削減が求められることなどを明らかにしている。得られた成果は、研究対象とした紀の川流域における栄養塩類管理の今後の方針決定に役立つことはもちろん、全国の果樹園などの農地が広く分布する流域や水道水の異臭味問題が生じている流域などにも有益な情報を提供しており、土木工学分野(水工学)における学術的価値は非常に高く、博士論文の水準にあると判断した。

最終試験の結果の要旨

公聴会（平成31年1月31日）は全審査員、学内外関係者など23名の出席により開催され、適切な発表と質疑応答がなされた。よって、予備審査、個別審査ならびに公聴会の内容を総合的に判断した結果、最終試験に合格したものと判定した。よって、博士学位授与に値すると判断した。