居住地域における光環境の景観評価
～ホタルを指標としたGISによる解析～

布川茂樹[1]・田中一成[2]・吉川　眞[3]

[1]学生会員　大阪工業大学大学院博士前期過程　都市デザイン工学専攻
（〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮5-16-1，E-mail:nunokawa@civil.oit.ac.jp）
[2]正会員　博士（デザイン学）　大阪工業大学工学部都市デザイン工学科
（〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮5-16-1，E-mail:issey@civil.oit.ac.jp）
[3]正会員　工博　大阪工業大学工学部都市デザイン工学科
（〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮5-16-1，E-mail:yoshikawa@civil.oit.ac.jp）

近年，住居の明かりや防犯灯，あるいは自動販売機などの明かりが増加し，自然生態系保全への悪影響が指摘されている．本研究では，光に敏感であると言われるホタルを光環境を評価するための指標として，発生場所の環境データの分析を行った．主に，GISによる空間解析と地形データなどの環境指標を用いた解析を行った．結果，ホタルの発生に影響を与えている光や地形に関わる要因，特に高齢者人口にもとづく消灯時間や街灯との位置関係などを明らかにした．最後に，夜間照明の設置場所など水辺に照射された光環境等を考慮することによって，光を制御する景観デザイン手法を3Dシミュレーションによって検討し，今後の課題点を明らかにした．

キーワード:水辺空間，GIS，光環境，ホタル

１．はじめに

人の暮らしと関わりが深い自然の景観要素の一つに河川がある．生活用水や食料を得るだけでなく，川は人々の語らいの場ともなってきた．現在も河川は，人々の暮らしと深く関わっている．しかし近年，河川の様相も変化してきた．緑豊かで生物の宝庫であった河川がゴミだらけの川になっていたり，コンクリート３面張りの護岸になって生物の激減が観測されていたりする．さらに生活の 24 時間化が進んでいる現代で，光が河川に及ぼす影響もまた大きい．都市内河川周辺の街灯や自動販売機などによって人間生活にとっても明るすぎる空間が連続し，その照射された光によって水辺の自然環境の悪化を招いている地域も少なくはない．しかしながら，河川における自然環境と周辺の光環境について示した例は少ない．

本研究は，失われた豊かな生態系や都市化によって街から姿を消しつつある自然景観の復元・再生に寄与する現況の解析と，自然を人々が楽しめる場所，さらには自然生態系保全にともなう質の良い夜間照明の提供という 3 つの提案から成り立っている．人と自然との程よい距離，心地よい空間の創出，天然物と人工物の融合の３つの可能性を同時に満たす事が出来る水辺空間づくりをめざすと同時に水辺空間に影響する光環境を把握するものである．本研究では，そのめざす水辺空間の一つの指標として，環境のパラメータであり，その生息に周辺の光環境が大きく関わると言われている「ホタル」を置く．まず，ホタルの生息に最適な環境がどのようなものかを抽出するために広域的な分析として，大津市のデータと既往研究のデータからホタルの生態と生息状況を調査し，両者の関係について把握する（図-1）．そして，ホタルに適した環境を創るもしくは回復させる方法や維持する方法について考察する．さらに，「観る」という観点からヒトがエコロジカルな水辺空間を楽しむための工学的アプローチについて検討する．地形，人口，土地利用などの説明変数となるデータと目的変数であるホタルの生息分布のデータ[1)]との関係を GIS 上で組み合わせて分析することによって，現在の都市の中に，ホタルが生息できる環境を創り出すための新しいデータの構築を目的とする．さらに，狭域的な分析として街灯の等照度曲線図を作成することによって河川への光の影響圏を把握する．そして，それらの分析結果をもとに証明の配置とホタルの生息に適した生息環境を同時に満たしたモデルを３DG を用いてシミュレーションすることによって，水辺空間に影響する光環境を把握できるのではないかと考えている（図-2）．

２．研究対象地

本研究では，滋賀県大津市を研究対象地として選定した．大津市は，県庁を中心とした市街地と郊外の水田地帯を含む地域である．都市の中の自然を考慮する上で多くの要素が相まったミドル・ランドスケープとも言える土地である．近年の都市開発で自然が損なわれホタルの数もいったんは激減したが，その後放水路計画のような自然環境を考慮した取り組みによって，元の自然環境に近づけようという努力がなされてきた．ホタルに対しても市民の様々な取り組みが行われ，これを通して，最近はホタルが川に戻ってきている．このように，昔からホタルの生息地として知られ，市民のホタルへの関心も強い大津市は，ホタル再生に成功しつつある都市の一つであるといえる．

本研究ではこのような対象地を設定することで，指標となる充分なデータ量を確保すると同時に，研究成果が直接，街づくりの現場，空間デザインの現場に役立つことをめざしたものである．

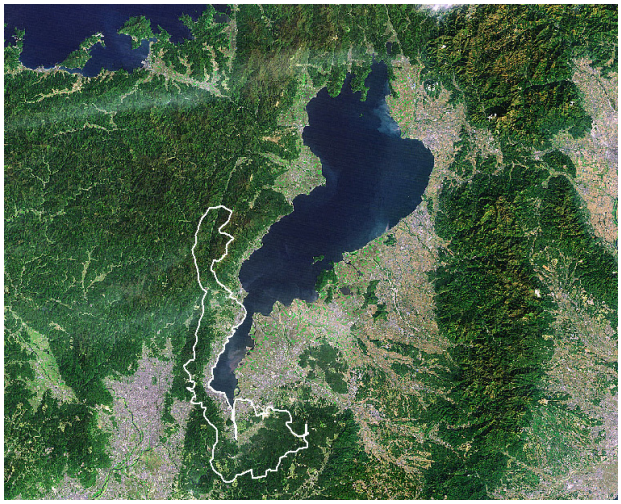


図-1　対象地域図

３．広域的な分析

広域的な分析方法は，GISによる空間分析とデータとなる各変量による回帰分析を用いる．各河川の形状等そのもののデータと各河川流域の地形，人口密度，高齢化率，土地利用，街灯数などのを説明変数にホタルの分布数を目的変数とした環境指標データ（図-3）の構築・集計を行い，単回帰，重回帰分析をそれぞれ行うことによって，ホタルの発生と相関関係の強い因子を抽出する．さらに，オーバーレイ等のGIS上での空間分析をすることによって，ホタルの生息環境を把握する．

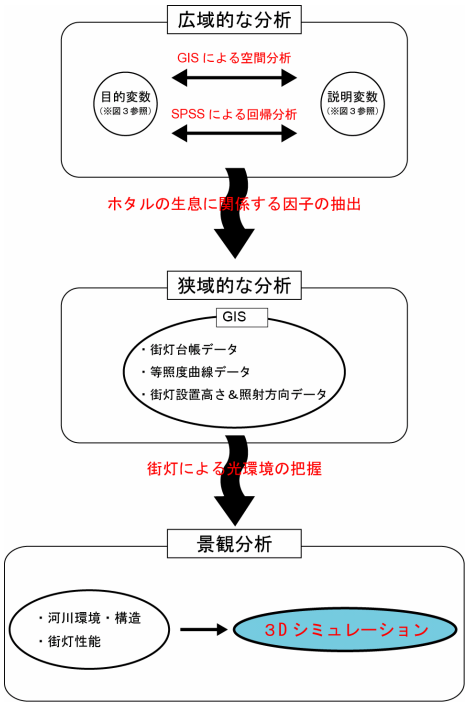


図-2　分析方法フロー図

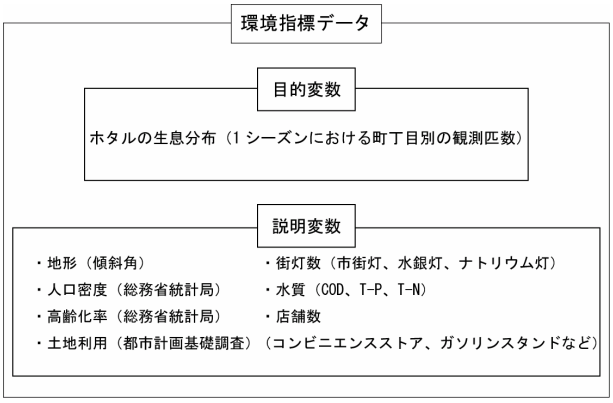


図-3　環境指標データ一覧

（１）GISによる空間解析

地形データは GIS を用いて河川傾斜角を算出し（図-4），河川から 200m のバッファリングを作成し，土地用途割合を計算することで地域特性の把握を行った．また，人口データと光に関するデータはトポロジー分析を行った．

(a) ホタルと河川傾斜角

ホタルの生息分布と河川傾斜角のデータの関係については，0°から7°，8°付近に分布が集中しており，逆に12.7°を境にホタルが発生していないという結果が得られた（図-5）．東北地方を対象にした既往研究[2)]で，ホタルの生息に適した傾斜角は15%未満であるという結果が得られており，近い値であるといえる．

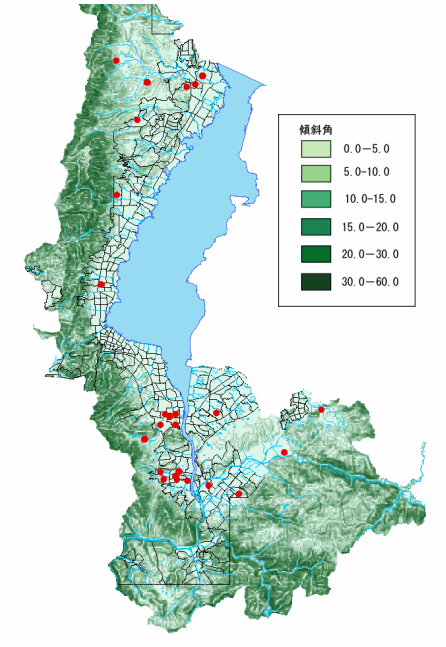


図-4　ホタルの生息ポイントと河川傾斜角の関係

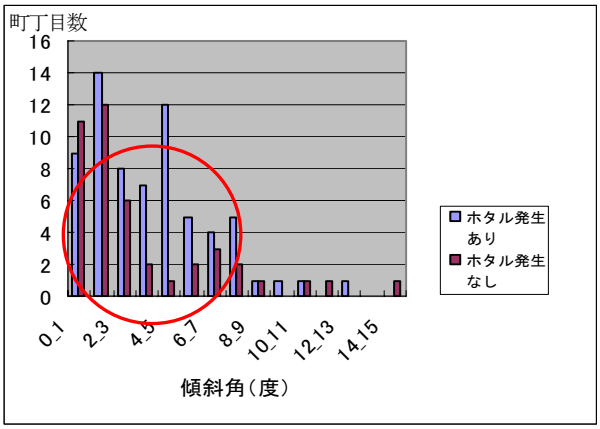


図-5　ホタルの観測町丁目数と河川傾斜角の関係

(b) ホタルと高齢化率

また，ホタルと人口データでは，特に高齢化率のデータ（図-6）との比較において興味深い結果を得ることができた．

ここではまずホタルの多く発生する大津市南部地域を対象として瀬田川を挟んでホタルの多く発生する右岸と少ない左岸とで人口密度，高齢化率データの比較行った．

この結果，人口密度では，ホタルの発生する千丈川，三田川，発生しない長沢川共に高い値を示している．しかし，高齢化率のデータを比較すると長沢川流域では高齢化率が低いという結果を得ることができた．以前の調査より在宅健常高齢者の平均就床時刻は20時９分であるということが分かっている．このことよりホタルの活動時間帯である20時から24時に街の明かりは落ちているという計算になる．今回の分析結果もこの関係性が顕著に現れていると言える．

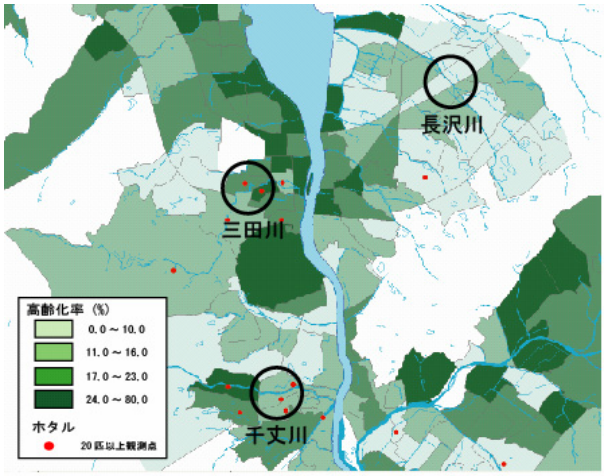
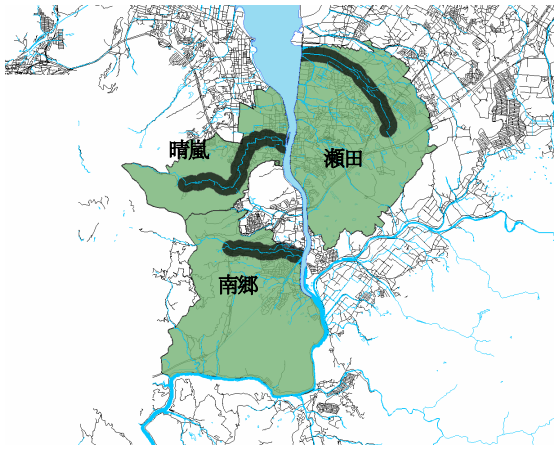


図-6　３河川における高齢化率の比較

（c）ホタルと街灯数

光に関するデータでは市街灯の本数と，各々高い相関関係があるという結果がみられた．　千丈川，三田川，長沢川を含む３学区，また河川に半径200mのバッファリングを作成しそのバッファリング内に含まれる街灯数を算出し比較を行った．結果，ホタルの発生数の少ない長沢川，また長沢川を含む瀬田学区では他の2学区に比べ街灯の総数が多いことがわかった（図-7）．

これらの分析結果を基にホタルの観測数の多い大津市南部の三田川，千丈川の２つの河川で現地調査を行うことで，ホタルの生息に適した多くの要因が見つかった．以上のことから，傾斜角の低い地域，街灯の総数や高齢者の住む割合（消灯時間）等とホタルの生息環境が大きく関係することがわかった．



（単位：灯）

学区	街灯総数	1k㎡あたりの街灯数	200mバッファリング内の街灯数
南郷(千丈川)	613	42.0	164
晴嵐(三田川)	628	91.8	309
瀬田(長沢川)	2553	168.0	375

図-7　学区ごとの街灯数比較

（２）SPSSによる回帰分析

土地用途や傾斜角などを説明変数とした環境指標データベースに200mのバッファリングを作成し，データの集計を行い，相関係数を算出した（図-8, 9）．まず単回帰分析を行い因子同士の関係を明らかにした．次に重回帰分析を行うことによって，ホタルの発生に関係する因子を算出した．

単回帰分析では，傾斜角と山林，人口密度と住宅地，交通施設用地と畑，市街地とパチンコ店などでそれぞれ高い相関関係を見て取ることができる（図-10）．

重回帰分析では住宅用地，公共・公益施設用地・コンビニ，T-Pがホタルの発生に大きな影響を与えている因子であるということを導きだした．また，重相関係数Rも１に近い値を算出できたことからも重回帰式のあてはまりがよいことが分かる（図-11）．

以上の結果からGISによる空間解析と同様に街灯数や傾斜角，また高齢化率といった指標にホタルの発生と相関があることが分かった．

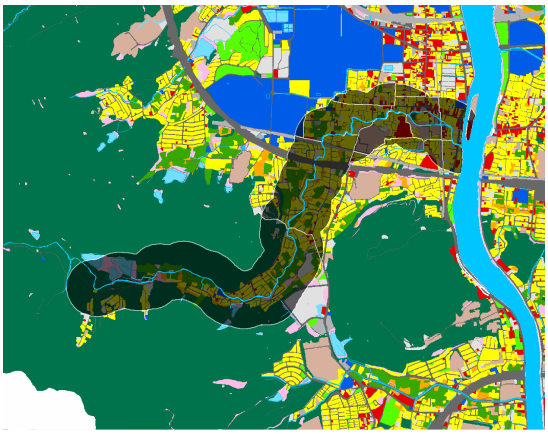


図-8　三田川における土地利用

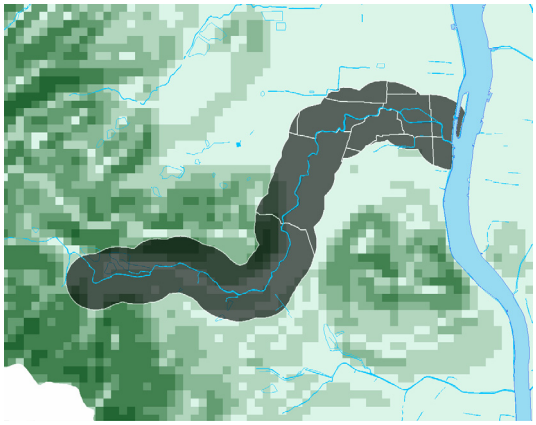


図-9　三田川における傾斜角

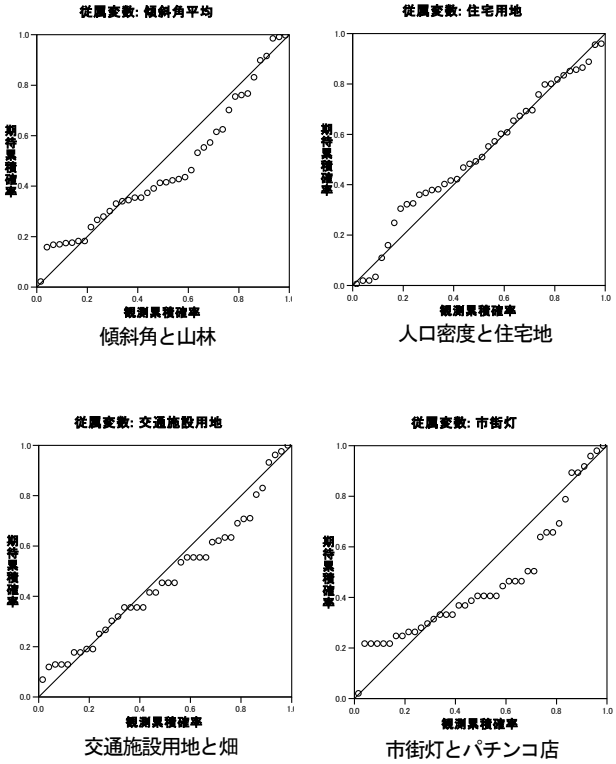


図-10　単回帰分析

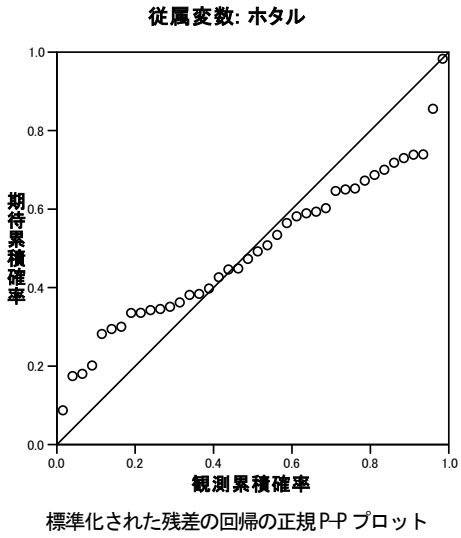


図-11　重回帰分析

４．狭域的な分析

狭域的な分析も，広域分析と同様にオーバーレイ等のGISの機能を用いての空間分析を行った．大津市から提供された街灯データから等照度曲線の分布をGIS上でビジュアル化することで街灯の河川への光の影響圏を把握する（図-12, 13）．まず，大津市街灯の台帳データから

街灯の品番を特定した．そして，松下電工から該当品番の等照度曲線図[3]の提供を受けた．照度分布図を作成する過程で街灯の設置高さと照射方向の情報は必要不可欠である．そこで，現地調査を行うことによって，それらの情報を取得し，高さに伴った等照度曲線図[4]をGIS上で作成した（**図-14**）．作成した照度分布図をオーバーレイしたところ，ホタルが多く発生する千丈川周辺における多くの街灯の光は川には届いておらず，また照射している光の照度の値も非常に低いという結果が得られた．この結果は千丈川沿いの道路が通常のものよりも広く設計されており川まで届く街灯の光が少なかったのではないかと推測できる．また，街灯設置高さもほとんどのものが３mから４mと高く設置されているものが少ないのも一つの要因に挙げることができると考えられる．

以上の分析結果，また既往研究や文献[5]，[6]からもホタルと光には密な関係があり，今回GISを使い等照度分布図を図化することによって，光の及ぶ範囲をより明確に捉えることができた．

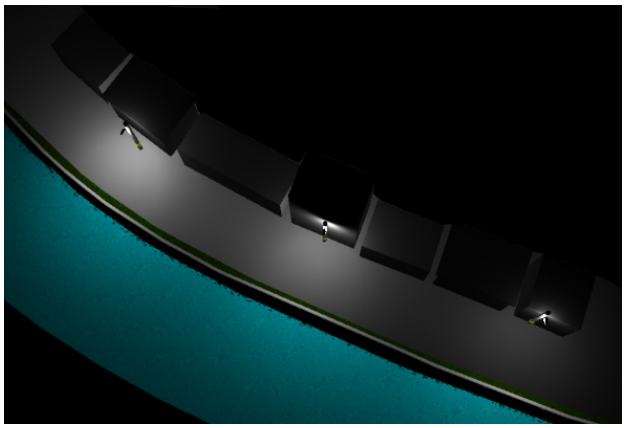


図-12　街灯による等照度曲線のイメージ

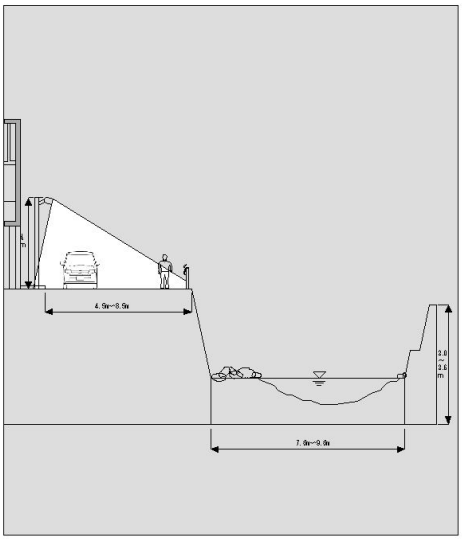


図-13　河川断面図

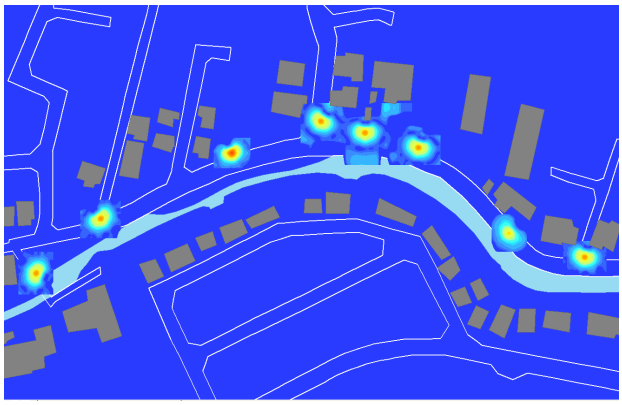


図-14　千丈川における等照度曲線図

５．３次元河川シミュレーション

以上のGISによる空間解析や回帰分析，また現地調査の結果を踏まえて，ホタルの生息に適した水辺空間を目的として街灯や住宅からの光量を制御するための３次元シミュレーションを行った．以下の図に示すシミュレーションでは，ホタルの生活空間を確保するために河川内の植生を豊富にし，ホタルブロックと称される護岸をホタルを光を含めた外的から身を守る，また羽根を休める空間を確保するという目的から設置している．同時に，民家や街灯からの漏れる光は，擁壁を高くすることと，天端に木を植えることで防いでいる．また対岸には，階段を設けて水際への降り口を配置するなど親水性を高める配慮をし，環境整備の重要なポイントとしている．

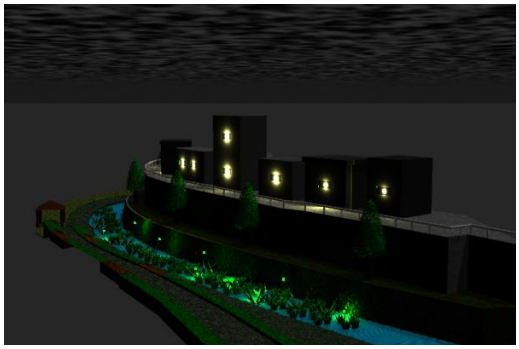


図-15　３次元シミュレーション①

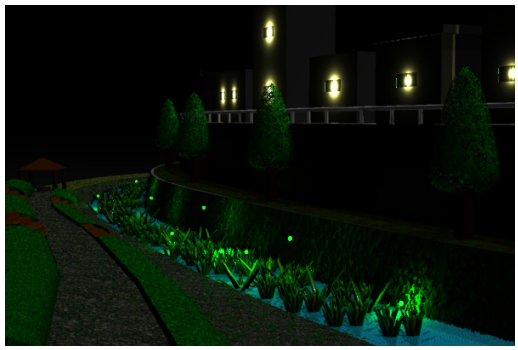


図-16　３次元シミュレーション②

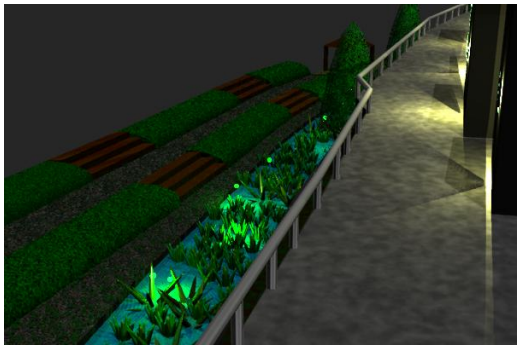


図-17　３次元シミュレーション③

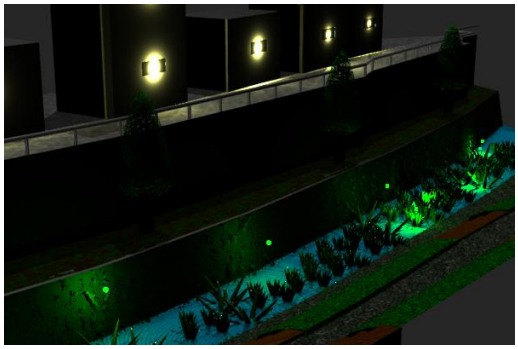


図-18　３次元シミュレーション④

６．まとめと展望

本研究では，居住地域における光環境について，ホタルの生息分布と様々な環境指標データとの関係をGISによる空間分析，多変量解析よって明らかにした．特に，街灯による光の影響がホタルに非常に大きな悪影響をもたらすという点から，そのような光をいかに防ぐかということに着目し，街灯の等照度曲線を具現化することにより，光の及ぶ範囲を狭域的に捉えることができた．以上の成果をもとに，光環境を考慮したホタルの生息に適した生活環境の３Dシミュレーションを提案できた．

しかし，ホタルの生息分布データは町丁目までの記述であり，河川流形下でのホタルの発生箇所との関係性を見出すまでには至らなかったこと，傾斜角データは50mのグリッドであるため精度を上げる必要があるということや等照度曲線を導き出す際の街灯設置高さ，使用年数，または家や自動販売機からの漏れ光も考慮しなければいけない点などが今後の課題として挙げられる．同時に，護岸の形状，ガードレールの有無，川面の水草の状況などといった要素によって水面を照らす光の量は変化するということについても考えなければならない．

さらには，今回の研究を通じて水面に達する光環境とその波形も景観に大きな影響を与えていると考えられ，川面まで達した街灯の光が，どのような波の条件下で見え方に変化をもたらしているのか，またそれは光源の強さや位置，そして視点場をかえるとどのように変化するのかを波動シミュレーションの観点から分析している．なお，これらの成果についても今後順次発表していく予定である．

謝辞：本研究を遂行するにあたり，龍谷大学環境ソリューション工学科遊磨正秀教授，水と文化研究会荒井紀子氏，大津市役所大西政章参事，北崎祐慈主査，滋賀大学教育学部川嶋宗継教授には多くの情報，資料の提供をしていただいた．この場をお借りして感謝の意を表します．

参考文献

1）　大津市：「ホタル」調査結果報告書，（2000）
2）　松本哲：数値地図を用いたホタル生息域の推定，東北大学，（2003）
3）　松下電工：施設・屋外照明’99
4）　田中満、奥田良典：漏れ光に着目した夜間景観～漏れ光の形態的特徴と影響に関する研究～，（2005）
5）　遊磨正秀：ホタルの水、人の水，信評論，（1993）
6）　遊磨正秀：ゲンジボタル成虫の生息密度におよぼす照度と樹冠被度の影響，（2001）