

## 水面借景の変化を立体角で数値化する

05001529 筑波大学  
01111251 立正大学  
01013930 国土技術政策総合研究所  
01009480 筑波大学

\*任 伊晗 REN Yihan  
小林 隆史 KOBAYASHI Takafumi  
石井 儀光 ISHII Norimitsu  
大澤 義明 OHSAWA Yoshiaki

### 1. はじめに

日本三名園の一つである偕楽園は、江戸時代に水戸の千波湖を臨む場所に造園された。偕楽園の主要な借景である千波湖は、その後、JR常磐線開通などにより干拓事業が進み、その形を大きく変えた[2]。現在、水戸駅南口が開設され水戸市役所が立地するなど、干拓地は水戸市の主要な市街地となっている。加えて、最近では偕楽園や千波湖周辺の樹木が生長した。そのため、偕楽園から千波湖への視線が障害され、主要な視点場である好文亭の三階からも千波湖はわずかしか見えない。図1に、江戸時代の様子を再現したシミュレーション(LUMION 12.0.2 student)を示す。

2022年に茨城県が公表した偕楽園景観ガイドラインでは、眺望確保のために植栽の間引きや剪定が強調されている。また、入園無料であった偕楽園だが、2019年11月より県外入園者に対する課金が始まった。このように、公園管理という観点からも偕楽園景観に対する社会的関心は高い。

本研究の目的は、千波湖が映り込む立体角を指標として用い、干拓や樹木成長がどの程度、千波湖借景の意味を喪失させたのか、計量的に考察することにある。具体的には、俯瞰景観を対象とし、第一に、樹木成長の影響を組み込んだ、水面への立体角に関する単純なモデルを構築した。第二に、偕楽園好文亭から千波湖への眺望が、干拓事業や樹木成長でどの程度障害されているのかを数値化することで、当初の偕楽園の作庭思想が150年弱経た現在でどの程度継承されてきたかを数値で解釈する。

借景に関する既存研究では、演繹法手法による研究は少ない[3]参照。また、立体角の都市計画への応用に関する既存研究[4][5][6]に関しては、樹木成長が組み込まれていない。そこで、本研究では、立体角モデルを通して、湖面形態変化や樹木成長が俯瞰水面景観に与える影響を分析する。



図1: 眺望シミュレーション (第一著者作成)

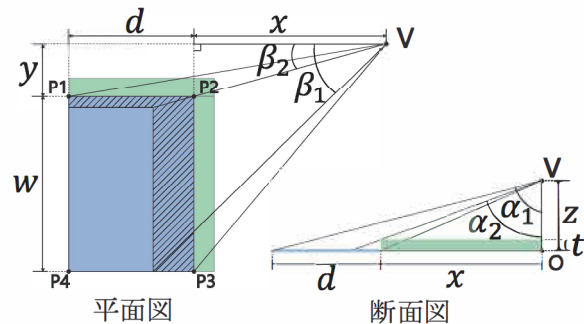


図2: 立体モデル

### 2. 立体モデル

図2の平面図と断面図が示すように、三次元空間において視点場Vから辺の長さを $w$ と $d$ とする矩形水面への俯瞰景を考える。視点場Vの真下を原点 $O$ とし、湖面の高さを0と基準化して視点場の高さを $z$ とする。視点場Vの座標は $(0, 0, z)$ となる。湖面頂点を $P_1, P_2, P_3, P_4$ とする。 $x, y$ を原点 $O$ から湖岸の辺 $\overline{P_2P_3}, \overline{P_1P_2}$ を含む直線までの距離とする。また、湖岸に一定高さ $t$ の樹木があるとす。樹木が無ければ湖面がすべて見える。しかし、湖岸樹木が生長すると、見える水面の大きさは減少する。本研究では、減少分を立体角を用いて数値する。

ここで、視点場Vから辺 $\overline{P_1P_4}$ 、辺 $\overline{P_2P_3}$ の鉛直角 $\alpha_1, \alpha_2$ は、

$$\tan \alpha_1 = \frac{x+d}{z}, \quad \tan \alpha_2 = \frac{x}{z-t}.$$

一方で、辺  $\overline{P_3P_4}$ 、辺  $\overline{P_1P_2}$  の水平角  $\beta_1, \beta_2$  は、

$$\tan \beta_1 = \left( \frac{z-t}{z} \right) \left( \frac{y+w}{x} \right), \quad \tan \beta_2 = \frac{y}{x}.$$

ただし、湖面が見える状況は  $\frac{t}{z} \leq \min \left\{ \frac{d}{x+d}, \frac{w}{y+w} \right\}$  である。したがって、樹高  $t$  が大きくなるにつれて鉛直角  $\alpha_2$  と水平角  $\beta_1$  は増加するが、鉛直角  $\alpha_2$  と水平角  $\beta_1$  は不変である。こららを用いると、水面への立体角  $\Omega(t)$  は、樹木高  $t$  の関数として、解析的に次のように表現できる [5][6]：

$$\Omega(t) = \arcsin(\sin \alpha_1 \sin \beta_1) + \arcsin(\sin \alpha_2 \sin \beta_2) - \arcsin(\sin \alpha_1 \sin \beta_2) - \arcsin(\sin \alpha_2 \sin \beta_1).$$

### 3. 偕楽園好文亭からの千波湖借景

本研究では、偕楽園好文亭三階から千波湖を望む状況を想定する。ただし、千波湖を図のように矩形で近似した：図3参照。江戸時代の千波湖 [2] に関して  $w = 2965(m), d = 1006(m), x = 128(m), y = 194(m)$ 、現在を  $w = 1240(m), d = 455(m), x = 235(m), y = 164(m)$ 、視点場高さ  $z$  を  $z = 22(m)$  と設定した。なお、一般の多角形でも同様な計算は可能であるが、パラメータが少ない解釈可能な単純な状況を設定した。

横軸に湖岸樹木の高さ  $t$  を、縦軸に水面への立体角  $\Omega(t)$  をとると、図4のようになる。単純なモデルから得られた図4ではあるが、この図から次の二点を読み取れる：第一に、150年の年月で千波湖への立体角は大きく減少した。立体角の大きさという限られた指標ではあるが、当初の偕楽園の作庭思想が少しずつ希薄になってきていると解釈できよう。第二に、好文亭から水面が最もよく見える状況（江戸時代、樹木無し）を基準とすると、干拓により立体角は江戸時代千波湖の立体角  $(0.109(sr))$  の17%まで大幅に減少し、さらに樹木  $(t = 5(m))$  により江戸時代の値の7%まで減少していることが読み取れる。干拓のみならず樹木成長の影響も大きい。偕楽園と千波湖の間には鉄道や道路があり、植栽にはそれらの目隠し効果もあるが、千波湖への俯瞰景観を確保という観点に限れば、茨城県が進めようとしている偕楽園周辺の植栽の間引きや剪定の効果が大きいと期待できると言えよう。

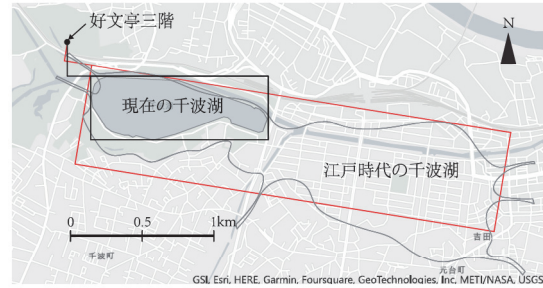


図3: 千波湖の矩形近似

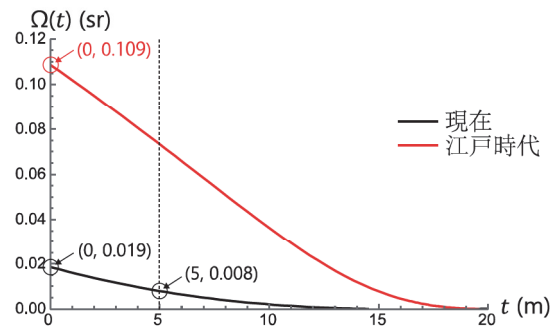


図4: 樹高と立体角

### 4. おわりに

本研究では、俯瞰景に関する単純な立体角モデルを構築し、偕楽園好文亭から千波湖への眺望が干拓や樹木成長でどの程度喪失したのかを立体角で数値化した。本研究はJSPS科研費JP21H01559の一環で実施した。なお、茨城県都市局都市整備課、水戸市景観室からコメントを頂戴した。

### 参考文献

- [1] 進士 五十八 (1986)：借景に関する研究-景観構造並びに借景思想にみる自然への態度の日本の特質について-, 造園雑誌, 50(2) pp. 77-88.
- [2] 大槻功 (2001)：都市の中の湖-千波湖と水戸の歴史-, 文真堂.
- [3] 任伊喰, 小林隆史, 大澤義明 (2022)：山容借景の作庭条件の理論化と実証. OR 学会 2022 年春季研究発表会, pp.188-189.
- [4] 渋谷敬一, 小林隆史, 大澤義明 (2004)：都市夜景の俯瞰景に関する計量分析 - 函館市を対象として -. 都市計画論文集, 39, pp.187-192.
- [5] 蓮香文絵, 大澤義明, 切田元, 小林隆史 (2006)：天空率と天空比との関係に関する考察. 建築学会計画系論文集, 600, pp.121-127.
- [6] 切田元, 大澤義明, 蓮香文絵, 中川亨規 (2007)：天空率規制が建物平面配置・形状に及ぼす影響に関する解析的研究. 建築学会計画系論文集, 617, pp.71-78.