3D Isovist Graph 解析システムの開発と応用
DEVELOPMENT OF SYSTEM FOR 3D ISOVIST GRAPH ANALYSIS宮崎 慎也^{*1}
Shinya MIYAZAKI

Isovist graph has been originally developed for 2D space analysis technology of urban and architectural space. This paper develops the isovist graph analysis technology from 2D to 3D for more clear evaluation of 3D environment and shows the simulation method of 3D isovist graph to analyze 3D environment more realistically than 2D. First, it is applied to a virtual 3D space model to show the difference between 2D and 3D simulation. Then it is applied to the real 3D space model of a university campus which includes height difference in its geography for validation of practical design use.

Keywords : Isovist Graph, Sight Depth, Depth-Map, 3D Space, Graph Theory, Campus Design
イソビスト・グラフ, 視深度, デプスマップ, 3次元空間, グラフ理論, キャンパスデザイン

1. はじめに

1.1 研究の背景

isovist は空間内に存在する人間の可視領域のことで、古くは Benedikt らが解析的にアプローチした研究¹⁾が見られ、国内外で多数の応用研究が報告されている。日本においても、視深度を用いて近代住宅作品の空間を評価する研究²⁾などの応用研究が報告されている。isovist が建築空間や都市空間内に存在する人間の視線を、連続的に広がる空間領域として捉えるのに対して、isovist graph は人間の視線を離散化して解釈することで、グラフ理論の指標を用いた様々な評価ができることが利点である。isovist graph についてはこれまで、B.Hillier らの Space-Syntax に代表されるような理論的な研究³⁾や、A.Turner⁴⁾などによる応用研究が進められている。シミュレーション手法も確立されており、「Depth Map」⁵⁾などの汎用アプリケーションによって、手軽に様々なシミュレーションが行うことが可能となっている。

1.2 研究目的

本研究では、これまで行われて来た isovist graph の研究を3次元空間に展開し応用することを目的とする。3次元の isovist を扱った研究としては、可視領域を立体角やヴォリュームとして扱ったもの⁶⁾⁷⁾⁸⁾など比較的多くの報告があるが、これらは人間の可視領域を3次元的なヴォリュームとして解釈したもので、可視領域のシーケンシャルな変化や、建築物による視線の遮蔽が都市空間に与える影響など、景観的な観点に着目したものがある。これらの研究の特徴は、可視領域のヴォリュームの幾何学的な特徴や量を評価指標とし

て利用している点であるが、視線のネットワーク的な観点は考慮されていない。ネットワーク的な観点の研究、すなわち 3D isovist graph の研究については、建築物の吹き抜け空間を対象にしたケーススタディーの研究⁹⁾などが見られるが報告が少なく、解析技術の確立や、応用研究が待たれているところである。本研究は、3D isovist graph の基礎研究¹⁰⁾に対して、定量的な検討と応用のためのケーススタディーを加えてデザインツールや空間評価手法として応用する展開を試みるものである。

2D isovist においては、人間の視線は地平面と平行な一つの面上に通ると仮定されている。都市スケールを対象とする空間評価などでは、地形の高低差などの3次元情報を捨象することで、よりシンプルに広域的な空間の特徴が記述できる利点を持つ。一方、歩行空間など、よりヒューマンスケールの空間を評価する場合は、斜面、坂道、段差などの地形が、視線の抜けや遮断に与える影響は大きくなる。このような場合、3次元の情報を捨象することによって、歩行者が実際に体験する空間を実体に即して評価することができなくなる恐れがあり、3次元情報を考慮した空間評価が必要になる。

本研究では、3次元の地形上に位置する人間同士の視線の関係を 3D isovist graph としてモデル化する。3次元の幾何学情報は2次元と比較して計算が煩雑になる問題があるが、isovist を3次元上の視線のネットワークとして扱うことによって、3次元幾何学を扱う計算負荷を軽減でき、さらにグラフ理論の指標を利用したネットワーク評価も可能である。2D isovist graph では視点の高さがすべて均一の仮定であるのに対して、標高差のある地形では、地形の変化に沿

^{*1} 福岡大学工学部建築学科 助教・博士(工学)

Assist. Prof., Dept. of Architecture, Fukuoka Univ., Ph.D. in Eng.

って視点の高さが変化すること、また、建築物などの構造物だけでなく、地形自身が視線の遮蔽要素となることが、大きく異なる。2D、3D の 2 つの isovist graph を比較しながら、3D isovist graph の有効性について、具体的なモデルを用いて検証していく。

2. 研究方法

2.1 研究の流れ

本研究では、3D isovist graph のモデル化方法、グラフの評価指標、解析フローを示し、その後、この解析システムを仮定の 3D 地形モデルに適用しケーススタディーを行う。2D isovist graph と 3D isovist graph、それぞれの解析結果を検証し、その違いを明らかにする。さらに、高低差のある F 大キャンパス空間へモデルを応用し、2D と 3D isovist graph の違いを明らかにするとともに、キャンパスデザインの観点から有用性を検証する。

近年、多くの大学がキャンパスマスタープランを策定し、キャンパスの軸線、動線計画、景観計画、建築物配置計画、オープンスペース計画を行っている。歩行者の isovist はこれらに関係する重要なキャンパスデザインの評価指標の一つであるが、F 大キャンパスのように、高低差のある地形に建築物が複数配置される場合、地形の影響を、感覚的、あるいは経験的に捉えることは困難であり、3D isovist graph を客観的かつ定量的にデザインを評価するツールとしても応用できる可能性を示す。

2.2 3D isovist graph のモデル化

isovist graph は、人間の視線の関係をグラフによって表現したものである。地面の上に人間が配置されていると仮定し、人間の目線の高さ位置¹⁾にノードを配置する。すべてのノードに対する完全グラフを作成し、これらの視線が建築物や地形によって遮断されるエッジを除いたものが、3D isovist graph となる。2D isovist graph においては、建物のみが視線の遮蔽要素であるが、3D isovist graph では、建物以外に地形自身が視線の遮蔽要素になり、視点の高さも地形に沿って変化することが特徴である(Fig.1)。

これまで、3D isovist に関連する研究としては、視点を中心として、放射状に広がる視線ベクトルを対象とした研究^{11) 12) 13)}などがある。これらの研究は、視点を中心として立体的に広がる 3 次元的な視界領域や視対象への視線の抜けについて記述している。一方、本研究は 2D の isovist graph を 3D に拡張し、起伏のある地形におけるアイレベル上の視点と視線の関係に着目するところに特徴がある。天空に向けての視界の広がりなどの経路選択には関わりにくい視線ベクトルは考慮せず、人間が経路選択の主な手がかりとしているアイレベルの空間の視線のつながりのみに注目することで対象領域の空間検索性に着目して視線のネットワーク構造を明らかにする。前者がある特定の視界の広がりや、特定視対象が見えるか否かを扱うのに対して、本研究は起伏のある地形におけるアイレベルの領域全体の空間検索性を評価することに特徴がある。

Fig.1 Comparison of 2D and 3D isovist graph

2.3 評価指標

本研究では、Neighborhood-Size (NS), Mean-Distance (MD), Mean-Step-Depth (MSD) の 3 種類の指標を用いて 3D isovist graph を評価する。グラフの分析においては各ノードの 3 次元の空間位置情報は捨象されるが、それぞれのノード間のエッジ重みに、3 次元上の距離を与え、実空間の距離を解析結果に反映する。

2.3.1 近隣サイズ : Neighborhood-Size (NS)

NS はグラフの任意のノードに接続するエッジ数であり、isovist graph においては、実空間において人間がある空間に位置する際の可視領域の広さを近似的に示す指標になる。グラフ $G = (V, E)$ の任意のノードを v_i とし、 v_i の隣接エッジ数を k_i 、グラフ G のノード総数を N とし、NS を隣接エッジ数の総ノード数に対する割合の形で以下のように定義する。

$$NS_{v_i} = k_i / (N - 1) \quad (1)$$

この指標はグラフ理論における最も一般的な指標であるが、isovist graph においても、任意の視点における視界の領域の広さを示す値となる¹²⁾。値が 1 に近づくほど、より大きい可視領域をもつ視点であることを示す。

既往研究^{11) 12) 13)}では、ランドマークや樹木など特定の視対象が設定される場合や、視点からの外部空間への視線の抜けなどを評価する場合など、いずれも視点と対象が区別されている。本研究では、アイレベルの視点相互のつながりを評価することに特徴があり、領域全体内の視線のネットワークの全体的評価が可能となる。

例えば、キャンパス外部にランダムに人間が分布している場合に、NS の値が高い場所は、その位置から見渡せる人間の数が多く、同時に多数の人間から見られる位置であることを示している。また、NS の平均値は、キャンパス外部空間の視覚的一体感を評価する指標としても参考にできる。さらに、本研究では 3D の地形を考慮することで、2D と比較し、より実態に即した空間評価を行う。

2.3.2 平均最短距離 : Mean-Distance (MD)

MD はあるノードからその他すべてのノードへの最短経路距離の平均値である。グラフ $G = (V, E)$ の任意の 2 つのノード $v_i, v_j \in V$ の最短経路のエッジ数を $d(v_i, v_j)$ とし、 v_i, v_j 間の最短経路の平均のエッジの重みを $\bar{w}(v_i, v_j)$ とした時 v_i と v_i を除く全てのノード間の最短平均距離 MD_{v_i} は以下のように表される。

$$MD_{v_i}(G) = \sum_{j=1; j \neq i}^N d(v_i, v_j) \bar{w}(v_i, v_j) / (N - 1) \quad (2)$$

MD は空間内のある視点から他の全ての視点までの平均距離であり、一般的には空間の中心ほど小さい値となる。

グラフ理論においては、近隣サイズは次数中心性、平均最短距離は近接中心性とも呼ばれるが、次数中心性が一般的に想像される中心とはしばしば異なること、これに対して、近接中心性はグラフの中心部分が高くなることが知られており¹⁴⁾、MD によってキャンパスの視線のネットワークの中心性を把握することができる。

例えば、キャンパスにおいて、近接中心性の高い場所は、どこからアクセスしやすく、視線が通る目立ち易い場所であり、キャンパスの案内板や AED など配置するのに適した場所といえる¹³⁾。

また、キャンパス計画において建物の配置や動線計画を行う場合、主要動線と近接中心性が高い場所との位置関係を把握すること、キャンパスの全体的なアクセス性と視認性を定量化して把握すること、などに本指標を利用することができる。さらに、本研究では、3Dの地形を考慮することで、2Dと比較し、より実態に即した空間評価を行う^{注4)}。

2.3.3 平均階層：Mean-Step-Depth(MSD)

MSD はあるノードからその他すべてのノードに対する階層深さの平均値であり、 v_i, v_j 間の最短経路の平均のエッジの重みを $\bar{w}(v_i, v_j) = 1$ とした場合の、 MD の値と同値である。

$$MSD_{v_i}(G) = \sum_{j=1, j \neq i}^N d(v_i, v_j) / (N - 1) \quad (3)$$

MSD は MD とは異なり、ある視点から他のある視点までのエッジ数を示す指標であり、距離に依存しない指標である。例えば、マンハッタングリッドのような格子の場合には、 $MSD < 2$ となり、1 回交差点を折り曲がるだけで、全ての地点を見渡すことができる。また、イスラムの都市のような複雑な街路構造の場合には、 MSD は大きくなる。この指標の特徴は、距離に依存せず、空間のつながりを見えるか見えないかで捉えるところにあり、空間の階層性の深さ(*depth*)を示す指標である。また、この指標は空間の探索のしやすさ、すなわち空間の検索性を示すものとも捉えることができる。

例えば、キャンパスにおいては、学会やオープンキャンパスなど外来者が来訪する機会が多いが、案内所の位置から各建物まで、視線の折れ曲がる位置にサインを配置し誘導する場合、最もサインの数を少なくできる案内所の位置が平均階層の最も小さい場所である。また、この場所は各建物から見ると、最も見つけやすい位置であるとも言える^{注5)}。 MD と同様に MSD の値も、キャンパスの視線のネットワークの中心性を把握する指標になり、キャンパスの建物配置や動線計画を考える上での重要な指標となる。さらに、本研究では、3Dの地形を考慮することで、2Dと比較し、より実態に即した空間評価を行う。

2.4 3D isovist graph の解析フロー

本研究では、3D isovist graph を解析するための、プラットフォームを開発する^{注6)}。Table 1 に 3Disovist graph の解析フローを示す。2D isovist graph では視線のネットワークの構築のための、完全グラフの枝切りにおいて、2 次元の線分同士の変換判定が必要になるが、3D isovist graph の場合この枝切りにおいて、3 次元の線分と面との衝突判定が必要となるのが技術的な特徴である。その他のプロセスは、2D isovist graph と同様の解析フローである。最短経路の探索にはダイクストラ法を用い、 MD を計測する時のエッジの重みは、線分の長さをそのまま付与し、最短経路探索を行う。

Table1 A flow of 3D isovist graph analysis

STEP	PROCESS
Step1	Input of 3D geography and building information as mesh data.
Step2	Generating nodes on a grid at eye-level and eliminating the nodes which is included in buildings' volume.
Step3	Making perfect-graph from the nodes which is generated in Step2.
Step4	Cutting the edges of perfect-graph which are interrupted by geography and building mesh surface.
Step5	Calculating shortest-path of all pairing combinations of nodes using Dijkstra's algorithm by steps and distances.

3. 仮想地形によるケーススタディー

ここでは、2D と 3D の仮想地形(fig.2)を用いてシミュレーションを行い、3つの指標を比較するとともに、可視化して空間的な分布の違いについて比較する。2D モデルはフラットな地表上に建築物として見立てたコの字型のヴォリュームを配置したものである。3D モデルは、右側に山形のスロープがあり、コの字型のオブジェクトには高さが与えられている。この2つのモデルを用いて、地形が視覚環境に与える影響を可視化してシミュレーションする。

また、3D isovist graph を可視化したイメージを示す(Fig.3)^{注7)}。白線で示されているのが視線のグラフであり、スロープの勾配に沿って、視点が配置され3次元的な視線のネットワークが構築される。視点間の間隔は2,500mm に設定し、シミュレーションを行う。

Fig.2 2D and 3D virtual geography model

3.1 NS：近隣サイズの比較

Fig.3 Image of 3D isovist graph in virtual geography model

NS の分布を 2D と 3D のカラーマップで示す(Fig.4(a)(b))。また、NS が最大、最小となる視点の位置と、それらの視点の隣接エッジを可視化したものを示す(Fig.4(c)(d)(e)(f))。まず、カラーマップについては、2D、3D とともに、コの字型の内側の部分の値が低い。また、2D と比較して 3D は、建築物とスロープの間は可視領域が狭く、スロープの稜線付近の値が高い。これは、地形によって視点の高さが変化したこと、地形が視線を遮断すること、の 2 つの要因が重なり合っているためであり、3D のシミュレーションでは 2D では把握できない微妙な地形の変化による isovist への影響が可視化できる。最大、最小となる視点の位置については、最大値をとる視点は 2D と 3D でほとんど同地点であるが、地形に遮断されるため 3D 方が値は低い。最小となる視点の位置や値は同じとなっている。

Fig.4 Result (NS) : Case-study in virtual geography model

Fig.6 Result (MSD) : Case-study in virtual geography model

Fig.5 Result (MD) : Case-study in virtual geography model

Fig.7 Scatter plots : Comparison of 2D and 3D isovist graph in virtual geography model case-study (NS, MD, MSD)

3.2 MD：平均最短距離の比較

MD の分布を 2D と 3D それぞれカラーマップで示す(Fig.5(a)(b)). MD の値は、2D と 3D とともに、中心に近づくときと低く、遠ざかると高くなる。色の分布も 2D と 3D でほぼ同じであり、地形の影響はほとんど見られない。また、最大、最小となる視点の位置と、極値をとる視点からその他の視点への最短経路を示す(Fig.5(c)(d)(e)(f)). 最大値をとる視点は左上の角で同地点であるが、最小値については、地形の影響を受けるため若干異なり、3D では建築物とスロープの間に最小値をとる視点が位置する。

3.3 MSD：平均階層の比較

MSD の分布を 2D と 3D それぞれカラーマップで示す(Fig.6(a)(b)). MSD の値を 2D と比較すると、3D は全体的に緑色が多く、値が高い。3D ではスロープの稜線付近が青色で値が低く、スロープを下るに従って緑色に変化し、値が高くなる。また、最大、最小となる視点の位置と、極値をとる視点からその他の視点への最短経路を示す(Fig.6(c)(d)(e)(f)). 最大値をとる視点はコの字型の内側で視点は同じ位置であるが、最小値をとる視点は異なり、地形の影響で極値をとる位置が変化することが分かる。

3.4 仮想地形における 2D・3D モデルの数値比較分析

2D と 3D のモデルを比較するため、各視点 (N=1448 点) について、NS, MD, MSD, それぞれの散布図を示す (Fig.7(a)(b)(c)). また、これらの、平均値、最大値、最小値、2D と 3D の相関係数を Table2 に示す。Fig.7 と Table2 から、2D と 3D の数値を比較すると、NS の平均値は 3D の方が低く、MD の平均値は 2D と 3D とでほぼ等しく MSD の平均値は 3D の方が高い。それぞれの指標の相関は、MD は $r=0.99$ で相関が高く、NS や MSD はそれほど相関が見られない。NS と MSD の相関関係においては、Fig.7(d)から 3D よりも 2D の方が負の相関が強い。以上より、MD については地形の影響がほとんどなく、NS や MSD の値は地形の影響が見られると言える。

Table2 Numerical comparison of 2D and 3D isovist graph in virtual geography model case-study (NS, MD, MSD)

	NS		MD(mm)		MSD	
	2D	3D	2D	3D	2D	3D
Mean	0.6336	0.4987	55,917	56,078	1.814	2.051
Max	0.7876	0.7130	77,702	77,792	3.925	4.066
Min	0.0927	0.0927	43,146	43,551	1.379	1.569
r	0.4554		0.9998		0.7301	

4. 大学キャンパスの地形によるケーススタディー

ここでは、F 大キャンパスの実際の地形と建築物(Fig.8)のデータを用いて、2D と 3D それぞれの場合で、シミュレーションを行う(Fig.9)注8)。3 つの指標を比較するとともに、可視化して指標の値の分布を比較する。視点間の間隔は 6,000mm 注9) に設定し、シミュレーションを行う。仮想地形と同様に 2D はフラットの地形とし、3D は実際の地形に合わせて、高さ 1,000mm ごとの等高線を階段状の地盤ヴォリュームとして表現したメッシュデータを用いる。これらの地盤上に実態に即して建築物のヴォリュームを配置する。なお、キャンパスは海拔 16m から海拔 27m まで約 11m の標高差があり、中心部は窪みがあり、底の標高は 18m である。これらの地形と建築物のモデル対して、Table 1 の Step4 までのフローを適用する。

Fig.8 2D and 3D FU campus geography model

Fig.9 Image of 3D isovist graph in FU campus geography Model

4.1 NS：近隣サイズの比較

NS の分布を 2D と 3D それぞれカラーマップで示す(Fig.10(a)(b)). 2D では、図の中心から放射線状に NS の値が高いエリアが形成されているが、3D では地盤面 18m 窪みの底の部分は、標高 25m の窪みの縁の部分よりも NS の値が低い。これは、標高が高くなる程、視界の領域が広がるという一般的な経験則とも一致し、より現実の歩行者の視線の状態を示していると言える。また、最大、最小となる視点の位置と、それらの視点の隣接エッジを可視化したものを示す(Fig.10(c)(d)(e)(f)). 最大値をとる視点の位置は 2D と 3D では大きく異なり、3D の視点の位置は標高 24m の地盤上にあるのに対して、2D では標高 21m の地盤上の位置にあり、平面上も大きく離れている。最小値をとる視点の位置は、両者とも同じである。

4.2 MD：平均最短距離の比較

MD の分布を 2D と 3D それぞれカラーマップで示す(Fig.11(a)(b)). 仮想地形と同様に、中心に近づくときと小さくなり、遠ざかると大きくなり、2D と 3D で分布の変化はほとんど見られない。また、最大、最小となる視点の位置と、極値をとる視点からその他の視点への最短経路を示す(Fig.11(c)(d)(e)(f)). 2D と 3D とともに同じ視点の位置であり、値が若干異なるのみである。

Fig.10 Result (NS) : Case-study in FU campus geography model

Fig.12 Result (MSD) : Case-study in FU campus geography model

Fig.11 Result (MD) : Case-study in FU campus geography model

Fig.13 Scatter plots : Comparison of 2D and 3D isovist graph in FU campus geography model case-study (NS, MD, MSD)

4.3 MSD：平均階層の比較

MSDの分布を2Dと3Dそれぞれカラーマップに示す(Fig.12(a)(b)). こちらは、2Dと3DでMSDの値の分布が明らかに異なる。NSの分布と同様に、2Dでは図の中心から放射線状にMSDの値が高いエリアが形成されているが、3Dでは地盤面18m窪みの底の部分は、標高25mの窪みの縁の部分よりも値が高い。F大キャンパスでは、標高が高いエリアの方が、見渡せる領域も広がり、空間の検索性も増加すると言える。また、最大、最小となる視点の位置と、極値をとる視点からその他の視点への最短経路を示す(Fig.12(c)(d)(e)(f)). 最大値をとる視点の位置は2Dでは18mの地盤の中心付近にあるのに対して、3Dでは、25mの地盤の上、法面の上部エッジ付近に位置する。これらの結果は、崖の先端などでは、視界が広がるという経験則にも一致するものである。

4.4 現実の地形における2D・3Dモデルの数値比較分析

2Dと3Dの比較のため、各視点(N=3779点)について、NS, MD, MSD, それぞれの散布図(Fig.13(a)(b)(c))を示す。またこれらの、平均値、最大値、最小値、2Dと3Dの相関係数をTable3に示す。Fig.13とTable3から、2Dと3Dの比較を行うと、NSの平均値は3Dの方が低く、MDの平均値は2Dと3Dとでほぼ等しくMSDの平均値は3Dの方が高い。これは仮想地形のケーススタディーと同じ結果である。また、それぞれの指標の相関係数は、NSは $r \approx 0.80$, MDは $r \approx 0.99$, MSDは $r \approx 0.93$, と高い。NSとMSDの関係においては、散布図(Fig.13(d))から3Dよりも2Dの方が負の相関が強い。この分析結果から、数値的にはNSやMSDの指標において2Dと3D相関性が見られるものの、カラーマップを見ると、窪みの地形付近の値の分布に明らかな違いが見られる。これは、カラーマップによって、数値のみからは把握できない空間的特徴を捉えることが可能になることを示している。

Table3 Numerical comparison of 2D and 3D isovist graph in FU campus geography model case-study (NS, MD, MSD)

	NS		MD(mm)		MSD	
	2D	3D	2D	3D	2D	3D
Mean	0.1539	0.1019	235,953	236,698	4.273	4.562
Max	0.3423	0.2484	349,089	349,562	8.811	8.955
Min	0.0005	0.0005	171,244	171,812	2.578	2.840
r	0.8012		0.9996		0.9387	

5. まとめ

5.1 本研究の成果

本研究では、isovist graph を3次元に展開する手法の開発を行い、これを仮想地形と、現実のキャンパス空間に適用し、2Dと3Dのisovist graphで、評価値がどのように異なるのか、カラーマップによる視覚化や、数値評価によって確認することができた。また、起伏のある地形に対して2D isovist graphで解析を行った場合、実際の感覚と乖離した結果となりかねないことを示した。3D isovist graphでは、地形の影響が人間の可視領域に大きな影響を与えていることを明らかにすることができ、空間評価ツールとしての有効性が実証された。特にMSDの指標のシミュレーション結果を見ると、人間の直感では予測しにくい微妙な場の変化を把握することが可能となる。

さらに、本研究では開発した解析システムによって、大学のキャンパスデザインへの応用を念頭にしたシミュレーションを行い、3D

isovist graphの応用利用の可能性を示した。F大のような起伏のあるキャンパスにおいて複数の建築物を配置する場合、フラットな地形のキャンパスとは異なり、動線計画、軸線の設定、建築物配置計画において、地形の影響を考慮することが重要である。このような地形の影響は、これまでコンター模型や3Dグラフィクスなどから、感覚的、経験的に判断されてきたが、3D Isovist graphは、これらのデザインを検討する際の、数値的な判断根拠としても活用できる可能性がある。

また、本解析システムは、2D isovist graphの解析システムに、3Dの衝突判定を加えるだけで、簡単に拡張可能であるだけでなく、様々なモデルを読み込んで応用が可能で、デザインのためのツールとしても汎用性が高く、他の様々な事例にも応用できる可能性がある。

5.2 今後の課題

本研究では、計算機の処理速度によって、視点の数や範囲が限定された。視点 n の数を増やしていくと、完全グラフのダイクストラ法による計算アルゴリズムを用いているため、枝数が n に近く処理速度が $O(n^2 \log n)$ となり処理効率が悪い。この技術的な問題を解決できれば、さらに広範囲かつ視点密度の高い解析が行うことができ、ツールとして汎用性がさらに増すことになる。また、キャンパスデザインなどの現場においては、「見える見えない」の視線の関係と、「行ける行けない」の歩行者の動線ネットワークが、有機的に重なり合っているかが、分かりやすく、歩きやすいキャンパス形成のキーポイントになると考えられる。今後は、歩行者の動線ネットワークと3D isovist graphを重ね合わせて評価する手法検討していく。

謝辞

本研究は科研費基盤(C) 16K06676の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) Benedikt, M. L. : To take hold of space : isovists and isovist fields, Environment and Planning B : Planning and design, Vol.6, No.1, pp.47-65, 1979.3
- 2) Kitagawa, K., Hayase, Y., Kondo, S., Zhang, J., Jiang, Y., & Wakayama, S. : A study on architectural plan description and evaluation with "sight-depth" The space composition of the modern houses in consideration of the wall and the window, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol.64, No.522 pp.187-194, 1999.8 (in Japanese)
北川啓, 早瀬幸彦, 近藤正一, 張健, 姜湧, 若山滋 : 「視深度」による建築平面記述・評価の研究。壁と開口部を考慮した近代住宅作品の空間構成, 日本建築学会計画系論文集, 第64巻, 第522号, pp187-194, 1999.8
- 3) Hillier, B., Penn, A., Hanson, J., Grajewski, T., & Xu, J.: Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement, Environment and Planning B: planning and design, Vol.20, No.1, pp.29-66, 1993.2
- 4) Turner, Alasdair, et al.: From isovists to visibility graphs : a methodology for the analysis of architectural space, Environ Planning B, Vol.28, No.1, pp.103-121, 2001.2
- 5) Turner, Alasdair : Depthmap 4: a researcher's handbook, Bartlett School of Graduate Studies, University College London, 2004
- 6) Yang, P. P. J., Putra, S. Y., & Li, W. , Viewspshere: a GIS-based 3D visibility analysis for urban design evaluation. Environment and Planning B: Planning and Design, Vol.34, No.6, pp.971-992, 2007.12
- 7) Morello, E., & Ratti, C. A digital image of the city: 3D isovists in Lynch's urban analysis. Environment and Planning B: Planning and Design, Vol.36, No.5, pp.837-853, 2009.1.
- 8) Bhatia, S., Chalup, S. K., & Ostwald, M. J. : Analyzing architectural

- space: identifying salient regions by computing 3D isovists, In Conference proceedings. 46th annual conference of the architectural science association (AN-ZAScA), Gold Coast, QLD, 2012.11
- 9) Varoudis, T., & Psarra, S.: Beyond two dimensions: architecture through three dimensional visibility graph analysis, The Journal of Space Syntax, Vol.5, No.1, pp.91-108, 2014.8
- 10) Shinya, M.: Spatial Analysis using 3D-Isovist-Graph, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, F-1, pp.1021-1022, 2017.7 (in Japanese)
宮崎慎也: 3D isovist graph を用いた空間解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1 分冊, pp.1021~1022, 2017.7
- 11) Isoda, S. Morozumi, M., & Iki, K.: A model to evaluate negative influence of large building development on landmark visibility, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol.59, No.456, pp.163-169, 1994.2 (in Japanese)
磯田節子, 両角光男, 位寄和久: ランドマークの可視・不可視領域に着目した大規模建築物の影響評価モデルの検討, 日本建築学会計画系論文集, 第 59 巻, 第 456 号, pp.163-169, 1994.2
- 12) Hirose, H., Shimokawa, Y.: Development of tool analyzing geometric appearance feature of architectural space using gaze vector array by Fibonacci lattice, Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ), Vol.83, No.750, pp.1611~1621, 2018.8 (in Japanese)
廣瀬寛騎, 下川雄一: フィボナッチ格子による視線ベクトル配列を用いた建築空間の視界幾何特性分析ツールの開発, 日本建築学会計画系論文集, 第 83 巻, 第 750 号, pp.1611-1621, 2018.8
- 13) Fujii, T., Yamada, S., Hirose, T., & Oikawa, K.: Measurement of the ratio of visible green spaces in the omnidirectional field of vision using CG models and their potential applications, AIJ Journal of Technology and Design, Vol.19, No.43, pp.1067~1072, 2013.10 (in Japanese)
藤井健史, 山田悟史, 廣瀬徳郎, 及川清昭: CG モデルによる全方位緑視率の計量手法とその応用可能性, 日本建築学会技術報告集, 第 19 巻, 第 43 号, pp.1067-1072, 2013.10
- 14) Masuda, N., Konno, N.: Fukuzatsu-Network - Kiso kara Ouyo made - (Complex Networks - from the basics to the application -), Kindaikagakusya, 2010 (in Japanese)
増田直紀, 今野紀雄: 複雑ネットワーク-基礎から応用まで-, 近代科学社, 2010

注

- 注 1) 本研究では, G.L.+1,500mm の位置にノードを配置する。したがって, 3D isovist graph とは, G.L.+1,500mm 上の仮想面上に設定される視点とそれらをつなぐ視線のネットワークであり, このグラフが解析対象となる。
- 注 2) 本研究では, NS は G.L.+1,500mm 上の仮想面上に設定する視点とそれらをつなぐ視線ネットワーク上の可視範囲を示す指標である。視点から天空に向けて放射状に広がる, 一般的な 3D の視線ベクトルとは異なり, 3 次元的な視界の広がりや, 天空の広さ示す指標ではない。
- 注 3) 近隣サイズ (次数中心性) は視点間の距離, 2 次リンク以降のノードが考慮されないため, グラフの端のノードなど一般的に想像される中心とは異なる場所が高くなることもある。MD は視線ネットワーク全体の中心を求めるための指標で, 一般的に想像される視覚ネットワークの中心を特定でき, キャンパス全体の視環境の構造が把握でき, キャンパス計画においても重要な指標になる。
- 注 4) 地形が 3D と 2D で, 中心の位置が大幅に異なる場合も想定されるので 3 次元的な視点の位置を考慮する意義は大きいと考えられる。
- 注 5) 視認性は距離によって減衰するが, 大きなサイン, 建物, 人間, の有無や, そこに行けるか行けないかなどを判断する場合, 一般的なキャンパスの範囲においては距離による視認性の減衰は考慮しなくても良いものと仮定している。また, 距離を考慮しないことで, 視線ネットワーク構造をより明示的に可視化することができ, キャンパス計画を行う上で, よりクリアに空間構造を理解できる。
- 注 6) 本研究においては JAVA 言語によって, 3D isovist graph の解析プラットフォームを開発し, Eclipse 上で実行している。
- 注 7) Fig.3 では, グラフのエッジを見やすくするため, 視点の間隔 10,000mm

とした時の 3D isovist graph を可視化している。

注 8) Fig.9 では視点の間隔 16,000mm とした時の 3D isovist graph を可視化している。

注 9) 計算処理が 24 時間内で終了することを目処に視点の密度を設定している。なお, 計算機のスペックは, プロセッサ Intel Core i9-7900XCPU@3.30GHz, RAM 64.0GB である。

DEVELOPMENT OF SYSTEM FOR 3D ISOVIST GRAPH ANALYSIS

Shinya MIYAZAKI^{*1}

^{*1} Assist. Prof., Dept. of Architecture, Fukuoka Univ., Ph.D. in Eng.

This paper develops 3D isovist graph analysis system by expanding 2D isovist graph system which has been developed for urban design analysis tool. 2D isovist graph has been assumed to be humans's isovist area as a network of isovist edges on a plane parallel to the flat ground. 3D isovist graph enables to evaluate the space with a geography which has height difference. For this purpose, at first, it is tried to clarify the difference between 2D isovist graph and 3D isovist graph by the case-study using virtual geography model with numerical index as NS(Neighborhood Size), MD(Mean Distance), MSD(Mean Step Distance), which are popular index as well in graph theory analysis. The difference between 2D and 3D isovist graph is verified by color maps and scatter plots and numerical result of these index. Furthermore, by applying this model into real geography data of a university campus, it is confirmed that 3D geography influences people's sight in the campus quantitatively. Then the effectiveness of the 3D isovist graph in practical campus design field is verified.

As the result of the first case-study using virtual geography shows clear difference between 2D and 3D isovist graph according to the verification of color maps, scatter plots and numerical values of three index. Second case-study with real geography in a university campus which has height difference also shows a difference between 2D and 3D isovist graph. Comparing correlation coefficient of NS and MSD value both 2D and 3D isovist graph, few conspicuous disparities are found between both. However, conspicuous disparity between 2D and 3D are found from the color maps. Moreover, there are differences of position of Max and Min value of the index comparing both 2D and 3D. Although the position of Min MSD value in 2D isovist graph is in the center of bottom ground surface of the geography, the position by using 3D space model analysis is around the edge of slope faced on 25m level from the sea. This result shows that 3D isovist graph can find more certain position along with empirical laws than 2D.

From the results obtained in these case-studies, when we use 2D isovist graph analysis though its actual geography includes height difference, we will have a risk of misunderstanding actual condition of humans' sights. This also gives evidence of effectivity of 3D isovist graph. The detailed influence of the geography which is shown in MSD value is found quantitatively and graphetically by using 3D isovist graph. These influences which are shown in MSD have been instinctively expected using such as contour models and computer graphics in practical campus design field. 3D isovist graph analysis gives more certain quantitative evidence for decision of design.

Improving the algorithm of Dijkstra's method enables plotting more points and making larger and higher dense maps of 3D isovist graph. This makes it possible to expand the application field of this system for larger area, for example, regional design and urban design.

(2019年2月7日原稿受理, 2019年7月24日採用決定)