

カンボジアにおける水上集落のフラクタル次元解析を用いた集合形態に関する研究

－ トンレサップ湖・チョンクニア地区における集合形態の季節変化について －

○岡田 夏樹*¹ 我妻 宏紀*¹
木村 敏浩*² 黒岩 孝*³
小島 陽子*⁴ 大内 宏友*⁵

キーワード：水上集落 カンボジア 季節移動 フラクタル次元 トンレサップ湖 移動式住居

1. はじめに

人間を取り巻く環境は一定の秩序を持ちつつ存在し、それに対応する住居や住居の集合である集落の在り方も多様である。歴史的にその地域の自然環境と一体として成り立つ一見複雑に見える住居の集合としての集落の集合形態に着目し、これらの「隠れた次元」を読み解く手だてとしてフラクタル次元解析は有用であると考えられる。自然界は樹木から銀河系に至るまでフラクタル性を持つ形態のカスケード（多層構造）とし、一見不規則な事象や形状の非定型を定量的に計測し関係式に示す事が可能である。それらの時間的変動もフラクタルとしてとらえられることから、建築・都市・地域計画分野の研究にも応用されつつある。

カンボジアの水上集落において、各集合単位が飛地的に形成されている立地特性は、生産性と深いかかわりのある水上集落の環境形成上の特性であり、集落における生産手段の共有と、生活空間の共存は、共同体の調整や運営に関して、歴史的、社会的に形成されてきた。これら集落の各相互間の多様なまとまりと、それらを越える単位のまとまりの空間的変容とその要因を把握することがフラクタル次元解析により可能となると考えられる。

以上のことから、本稿ではカンボジアにおける水上集落チョンクニア地区における移動集落の集合形態を、季節変化と年度変化について画像を用いたフラクタル次元解析を用い、自然環境との一体性と連続性を把握することにより、集落に関する空間秩序の考察を行う。

2. 既往研究と本研究の目的

これまで、筆者らはフラクタル次元を用いた研究を行ってきた。広場(アゴラ)における空間の秩序化の研究¹⁾では、西欧市民生活の拠点としてのアゴラにおける建築の配置構成を分析し、フラクタル次元解析により、アゴラの空間的「秩序」の考察を行った。広場の入り口からの視認可能領域を対象とするとフラクタル次元は低下していることを明らかにした。都市空間の解析において3次元陰影画像を用いた研究^{2) 3)}では、街区内における建物の配置や高さ、あるいはその形状とフラクタル次元との間に

強い関連性のあることを明かした。これらの分析方法は都市空間の構造の解析、あるいは、その形態分類等の分野へ応用できる可能性のあることも明らかにした。歴史的都市鎌倉における研究⁴⁾では、景観分析をもとに、複数年代の航空写真とGISデータを用いた解析を行った。ここでは、心理・物理相互の変遷を踏まえた分析手法を提示し、各領域と地域住民の景観認知のモデル化を行った。さらに、地域住民の環境認知である「鎌倉らしい領域」「変化した領域」と、実際の街区の建て替え等の物理的な経年変化との関係性について、複数年代の航空写真を用いた比較解析を行った。

以上の成果を踏まえ、本研究は、フラクタル次元解析を用いた研究を行う。研究対象地域としてカンボジアの

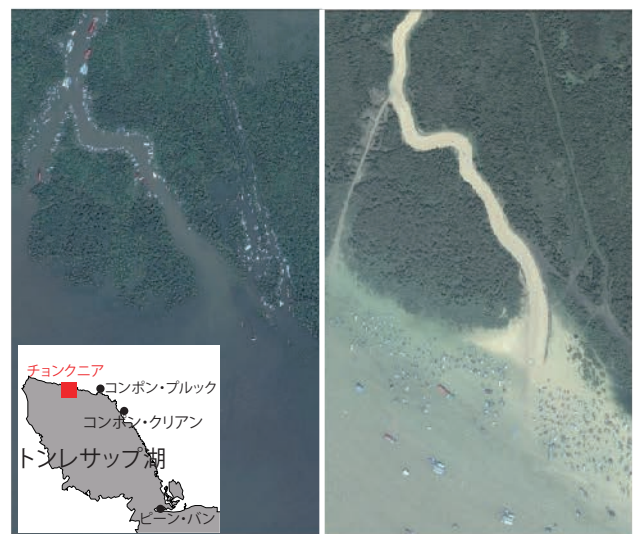


図1 水上集落チョンクニアの季節移動^{注1)} (雨季：左、乾季：右)



図2 トンレサップ湖の水上集落

水上集落チョンクニアを選んだ。チョンクニアは湖上に浮かぶ集落でありながら、雨季と乾季という2つの季節によって住居の位置を変え、集落の形態を変える(図1^{注1)}, 図2)。本研究は、環境の変化に柔軟に対応するこの集落を対象にフラクタル解析を行うことより、チョンクニア集落の季節移動と集合形態の関係性を明らかにすることを意義としている。また、一般的に利用可能な分析手法を提示することを目的とするため、フラクタル次元解析にあたっては、簡易かつ普遍的な画像情報である、Google Earthの衛星画像を用いた分析を行う。

3. チョンクニアの概要

対象地のチョンクニアは、カンボジアの首都プノンペンの北北西、及び古都シェムリアップの南のトンレサップ湖にある(図3)。トンレサップ湖は東南アジア最大の湖であり、雨季は乾季の面積の約3倍、水深は約9倍にもなる淡水湖である。トンレサップ湖にはその氾濫原に100万人以上の人々が生活を営んでいるとされ、その人種も、クメール人、チャム人、ベトナム人、中国人と、多様である。トンレサップ湖は古くから、漁場であり、交易の場でもあった。数ある集落の中でもチョンクニアはシェムリアップに近いことから、魚介類の集積地及びシェムリアップとプノンペンをつなぐ旅客ターミナルとして機能している。

4. 研究方法

4-1. 分析対象地域

本研究は対象地域として、カンボジアのトンレサップ湖上にある水上集落のチョンクニアに加え、その比較対象として、近隣水上集落及び近隣都市を選定し、計6地域17箇所を分析した(図3、図4)。対象地の選定にあたっては、住居形態を参照して(表1)、定住性の集落や他の移動性集落を比較基準として選定した(図6~10)。チョンクニアに関しては、季節及び年度の異なる条件下で比較をおこなう(図5~9)。分析の範囲は生活領域として一定のまとまりを持つと確認できた領域を集合体として分析を行う。水上集落チョンクニアに関しては、沿岸部に沿って平行に集合する住居のまとまり(図4, ⑭~⑰)と、沿岸部から離れて垂直に集合する住居のまとまり(図4, ⑥~⑨)がある。

住居形態のうち、移動式住居に該当するものは、筏住居、家船、杭上住居である。これらの住居のある、水上集落のカンボンルアンとチョンクニアを移動性集落として、それ以外の集落・都市を定住性集落として定義し、分析を行う。

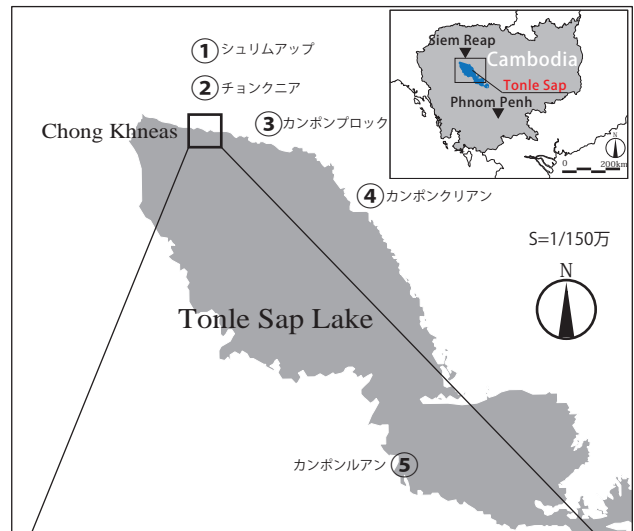


図3 トンレサップ湖周辺の分析対象集落・都市^{注1)}

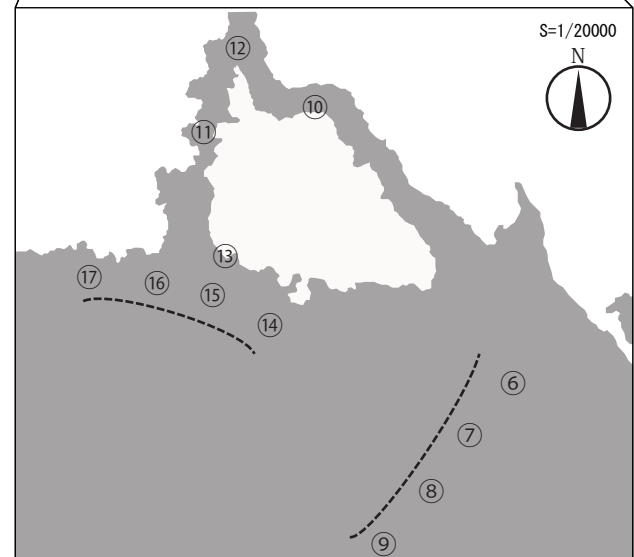


図4 チョンクニアの分析対象箇所^{注2)}

4-2. 分析手法

次の3項目についてフラクタル次元解析を行う。

- i. チョンクニアにおけるフラクタル次元の季節比較(雨季と乾季の比較)
- ii. チョンクニアにおけるフラクタル次元の年度比較(2004年と2013年の比較)
- iii. フラクタル次元の地域比較

上記の項目について、以下の順序で分析を行う。

- ①フラクタル次元解析に用いるデータとして、対象地の航空画像から解析に必要な範囲の画像を抽出する。
- ②抽出した画像を用い、ボックスカウンティング法によりフラクタル次元を求める。
- ③分析対象の6地域17箇所において、フラクタル次元の連続性についてグルーピングを行い、各グループの特徴を分析する。
- ④各グループのフラクタル次元と集落の集合形態との関係性を考察する。

表1 対象地域とその住居形態

番号	対象地域	筏住居	高床式住居	家船	杭上住居	都市住居
①	シュリムアップ					○
②	チョンクニア(陸上地区)		○			
③	カンポンブロック		○			
④	カンポンクリアン		○			
⑤	カンボンルアン	○			○	
⑥⑦⑧⑨	2004年乾季チョンクニア	○		○	○	
⑩⑪⑫	2013年雨季チョンクニア	○		○	○	
⑬	2013年雨季チョンクニア(海岸線)	○		○	○	
⑭⑮⑯⑰	2013年乾季チョンクニア	○		○	○	



図5 ①シュリムアップ 図6 ②チョンクニア(陸上地区)

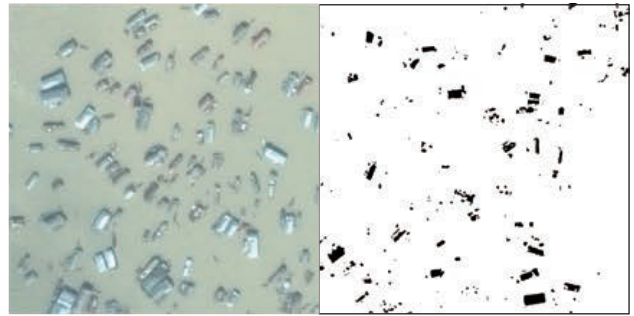


図13 ⑰2013年乾季チョンクニア 図14 2値化後の画像の例



図7 ③カンポンブロック 図8 ④カンポンクリアン



図9 ⑤カンボンルアン 図10 ⑧2004年乾季チョンクニア



図11 ⑩2013年雨季チョンクニア 図12 ⑬2013年雨季チョンクニア(海岸線)

5.フラクタル次元解析

フラクタル次元の解析により、画像の複雑さを定量的に求めることができる。本研究では Google Earth の衛星画像から、集落の集合形態がわかる画像を、一辺 250m として同じ大きさ・高さに合わせて選定した。選出した画像の種類は、2004 年乾季チョンクニア、2013 年乾季チョンクニア、2013 年雨季チョンクニア、チョンクニア付近の定住型集落、近隣水上集落、近隣都市である。チョンクニア以外の画像を選定した理由については、チョンクニアとそれ以外の比較によってチョンクニアの集落の集合形態が特異なものなのか、あるいは周辺地域に通じるものなのかを明らかにするためである。また、雨季と乾季の比較、年度別による比較も行う。

本研究ではフラクタル次元の算出にボックスカウンティング法を用いる。ボックスカウンティング法とは、解析対象画像の複雑性（フラクタル次元）を、自然物の不規則な形状に対して有効な次元である容量次元として算出する手法である。具体的な手順は次のようになる。

- ①対象画像をグレースケール画像に変換する。
- ②(1)の画像を白と黒のみ（モノクロ）で、濃度が0または1の2値画像（例：図14）を作成する。この際、閾値を検討する^{注3)}。
- ③フラクタル次元を算出する。2値画像一辺 r 画素の正方形で被覆する時、対象とする画素数を含む正方形の個数を画素間隔 r ごとに $N(r)$ とすると、以下のような式が成り立つ。

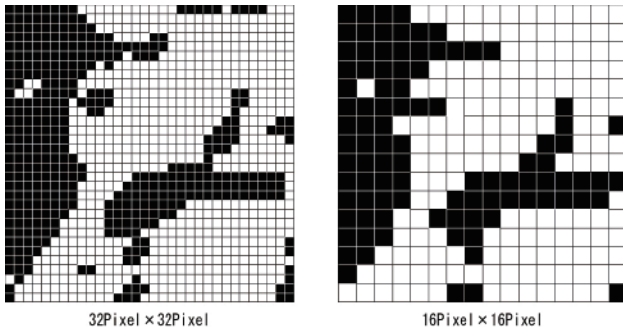


図15 ボックスカウンティング法による分析画像の一例

$$N(r) \cdot r^D = C \quad \dots (1)$$

ここで、Cは定数であり、このときのDがフラクタル次元となる。また、式(1)を変形すると、

$$\log N(r) = \log C - D \log r \quad \dots (2)$$

となる。フラクタル次元Dは $\log r$ と $\log N(r)$ の直線の傾きであり、最小二乗法により算定することができる。

④以上の操作をピクセル数の異なる複数の画像として、 2^n pixel となるように 4096 pixel から 256 pixel まで画素数を減少させ、それぞれに対し、フラクタル次元解析を行い、フラクタル次元の連続性を求める²⁾。フラクタル次元の連続性は、大きな空間から小さな空間までのスケール変化に連続性があることを表している。本研究で分析に用いる画像は、対象領域を変えず、その解像度を減少させることで、フラクタル次元の減少傾向の分析を行う。従って、1 pixel 辺りの距離は変化させているものの、対象となる空間の範囲は変化させない。図15に分析画像の一例を示す。

6. 分析結果

図16は2004年乾季と2013年乾季におけるチョンクニア地区のフラクタル次元を算出した結果である。8枚の画像のいずれにおいてもグラフがほぼ同じ形態をとっていることがわかる。また、2004年と2013年のどちらの画像においてもフラクタル次元の変化に大差がないことがわかる。

図17はチョンクニア地区とその周辺地域のフラクタル次元を算出した結果をグラフ化したものである。最上部に位置するグラフ(以下、Aと表記する)がチョンクニアの海岸線の結果である。海岸線のフラクタル次元は上限の2.0に近く、ピクセル数が変わってもフラクタル次元の変移は緩やかであることがわかる。中段の4本のグラフ(以下、Bと表記する)はチョンクニア地区周辺の集落・都市における結果である。4つのグラフが似た形態をもち、高い次元で変移していることがわかる。最下部に位置する8本のグラフはチョンクニア地区の雨季と乾季の結果と、カンボンクリアンの結果である。2012雨季③と近隣

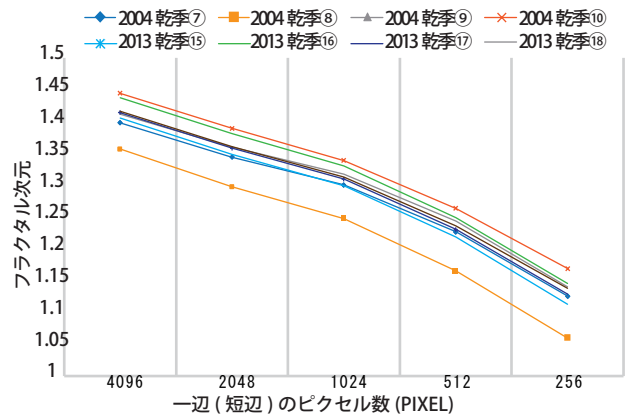


図16 チョンクニアの乾季におけるフラクタル次元

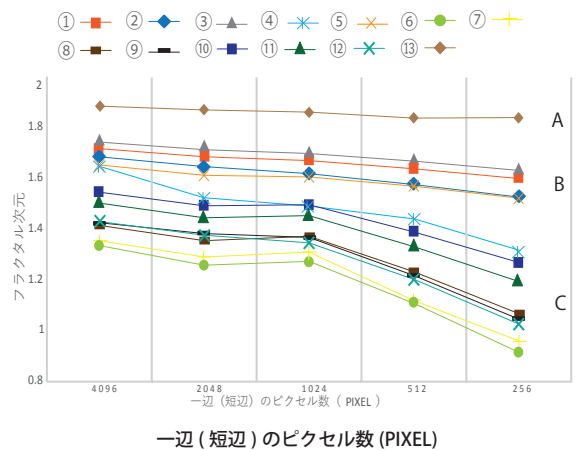


図17 チョンクニアとその周辺地域のフラクタル次元

水上集落③の2つの結果を除く6つのグラフ(以下、Cと表記する)はほぼ同じ形態を持っていることがわかる。

7. 考察

カンボジアにおける水上集落チョンクニア地区における集合形態の季節変化についてのフラクタル次元解析を行い、自然環境と水上集落との一体性と連続性の考察を以下にまとめる。

チョンクニア地区の場合、チョンクニアの背景にある海岸線のフラクタル次元(A)とチョンクニア集落のフラクタル次元(C)を比較することによって集落の自然環境との関係性を考察した結果、大きなスケール(4096 pixel)の場合、フラクタル次元が高次であり、海岸線の自然環境の形態と集落の集合形態が近い関係にあることがわかる。一方、小さなスケール(256 pixel)で見ると、つまり個々の住居単位に近いスケールでは、フラクタル次元が低い。一般に画像の解像度が高いと、その画像に含まれる地勢や住居等の情報がより精細なものとなる。本稿の分析に用いた画像についても、解像度の低い画像では表示されない細部が複雑さとしてフラクタル次元に反映されたものと考察する。

チョンクニア地区(C)とその周辺の集落(B)の比較から、チョンクニア集落と周辺の集落とのフラクタル次元は相

違する。具体的には (B) では、チョンクニア集落と同様の水上集落も含まれているが、(C) と比較することにより、水上集落であることとフラクタル次元の連続性に因果関係が少ないことがわかる。つまり、水上集落であることがチョンクニアのスケール変化の特異性を決定づけているわけではないと言える。

これまで筆者らのフラクタル解析を用いた既往研究⁵⁾では、フラクタル次元は都市化が進むことによって高次元化する可能性のあることを考察している。図2においても都市のフラクタル次元 (B) が含まれている。これがチョンクニア集落に比べて高い値であることから、都市化とフラクタル次元の高次元化には相関性があると考えられる。また、B のグラフには都市だけでなく、水上集落も含まれており、都市と同程度に高次の値を取っていることから、水上集落においてもフラクタル次元が高次元化する可能性を示している。以上のことから、チョンクニアにおいても、将来的にフラクタル次元が高次元化する可能性も想定される。

8. まとめ

本稿では、画像のフラクタル次元解析によって得られた知見から、集落の季節移動および年代変化と集合形態の関係性を以下にまとめる。

チョンクニアにおける移動性集落の集合形態には、一定の空間の連続性を持ち、さらに雨季と乾季での移動する集落における季節移動の集合形態の変化においてもフラクタル次元は同様の連続性を持つことがわかった。集落の雨季における定住性と、スケール変化の連続性 (自己相似性) に一定の傾向性をもつといえる。

さらに今後の展望として、より広範な地域を対象としたフラクタル次元解析を行うことで、地域の自然環境と一体として成り立つ住居の集合としての集落の集合形態に関して、定量的評価を行う予定である。

参考文献

- 1) Hiroto Ohuchi, Satoshi Yamada, Toshihiro Kimura, Setsuko Ohuchi, Mitsuhiro Matsubara 「Study on Changes in Ancient City Agoras Using Fractal Analysis—Using Shaded Image to Describe the Formation Agora in 300B.C., 150B.C., and 100A.D.—」 Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 359-366, 2011年11月, Architectural Institute of Japan
- 2) 黒岩 孝、宮本和樹、大内宏友、松原三人、3次元都市空間におけ街区モデルのフラクタル性に関する研究、環境情報科学論文集、第16号、pp329-334, 2002. 11
- 3) 木村敏浩、黒岩 孝、坂口浩一、松原三人、大内宏友、3次元都市空間における街区のフラクタル性と環境認知との相関性について—江東区

木場の連続した街区における分析・考察一、環境情報科学論文集、第17号、pp83-88, 2003. 11

- 4) 木村敏浩、大内宏友、歴史的都市鎌倉における地域環境の変化と住民の景観認知の関係性について、情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、第36号、pp. 103-108, 2013. 12
- 5) Satoshi Yamada, Nobutaka Shintani, Hiroto Ohuchi, Study on Landscape Recognition that Uses Image Processing Technology by Local Inhabitants in Kamakura, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 8, No. 1, pp. 151-158, 2009年5月, 日本建築学会
- 6) 根来宏典、蝶名林秀明、大内宏友、沿岸漁村地域における複合圏域の変化の要因とその内部構造について—地域住民における環境認知にもとづく計画圏域の設定 その2—, 日本建築学会計画系論文集、587, pp. 73-80, 2005. 01
- 7) 根来宏典、大内宏友、地域住民の景観認知における可視領域とその構成について、日本建築学会総合論文誌、第3号 pp. 169-175, 景観デザインのプロンティア, 2005年
- 8) Takashi Kuroiwa, Koichi Sakaguchi, Hiroto Ohuchi, Mitsuhiro Matsubara, Study on the Structural Analysis of 3D Urban Space Model by Fractal Theory, Journal of Environmental Information Science, vol32-5, 2004,
- 9) Hiroto Ohuchi, Watanabe Keisei, Setsuko Kanai, Study on the Composition of Layout Planning and Environmental Cognition in the Collective Housing at Makuhari Baytown, International Journal of Civil Engineering and Urban Planning (CIVEJ) Vol. 1/ No. 2 / 3, 21-3 2014/12
- 10) 井尻智、大内宏友、都市における近隣・生活領域の画像処理を用いた集合単位の設定、日本建築学会技術報告集、第12号、2001年1月
- 11) 大内宏友、宮崎隆昌、宗正敏、漁協を中心にとらえた漁港と集落の圏域の構成に関する実証的研究、日本建築学会計画系論文集 1986/11、369、72-80
- 12) 大内宏友、宮崎隆昌、宗正敏、漁協を中心にとらえた漁港と集落の圏域の特性とその変容に関する実証的研究、日本建築学会計画系論文集、1987/12、382、77-86
- 13) 大内宏友、砂田哲正、地域住民における環境認知の構成要素と広がりに関する実証的研究—環境認知の領域を主体とした実態圏域その1—, 日本建築学会計画系論文集、1994年 465、69-75
- 14) 大内宏友、砂田哲正、地域住民の環境認知における集落の類型に関する実証的研究—環境認知の領域を主体とした実態圏域 その2—, 日本建築学会計画系論文集、1997年 492、75-81
- 15) 根来宏典、大内宏友、地域住民の景観認知における可視領域とその構成について、日本建築学会総合論文誌、第3号「景観デザインのプロンティア」2005/01、3、169-175

注

注1) Google Earth 2016 (Google Inc.)

注2) Google Map 2016 (Google Inc.)

注3) 閾値はRGBカラーモデルにおいて、0～255の数値で表される。0に近いほど黒に近づき、255に近いほど白に近づく。閾値の設定にあたって、白と黒のカラーバランスが、画像中の集落の形態を損なわないと同時に、どの画像においても同程度となるような値を模索した。その結果、本研究では図15に関する解析では閾値を64に設定し、図16に関する解析では閾値を128に設定した。

*1 日本大学生産工学研究科 建築工学専攻 修士課程
*2 日本大学 生産工学部 建築工学科 非常勤講師 修士 (工学)
*3 日本大学 生産工学部 電気電子工学科 教授・工博
*4 日本大学大学院生産工学研究科 助教・工博
*5 日本大学大学院生産工学研究科 教授・工博

Study on collective form using fractal dimension analysis of water settlement in Cambodia

: On the Seasonal Change of Collective Form in Tonle Sap Lake / Chong Kneas District

○Natsuki OKADA^{*1} Hiroki AGATSUMA^{*1}
Toshihiro KIMURA^{*2} Takashi KUROIWA^{*3}
Yoko KOJIMA^{*4} Hiroto OHUCHI^{*5}

Keywords :Water settlement, Cambodia, Seasonal migration,Fractal demension,Mobile house

In the floating villages of Cambodia, the site characteristic where each aggregate unit is formed in a mysterious manner is its characteristic of environmental formation that is deeply involved with productivity. The sharing of production means in the floating villages and coexistence of living space have been historically and socially formed with regard to the coordination and management of the community. Fractal dimension analysis makes it possible to grasp the diversity of each of these villages and the spatial transformation of the unit clusters beyond them and their factors.

The purpose of this study is to examine the spatial order of the villages by grasping the integrity and continuity with the natural environment using the fractal dimension analysis about the seasonal variation of the collective form in the Chong Khneas area of Cambodia.

In this study, as a target area, in addition to Chong Khneas, floating villages located on Tonle Sap Lake in Cambodia, neighboring floating villages and sedentary villages were selected as comparison subjects, and a total of 6 areas 17 zone were analyzed. Fractal dimension analysis is performed on the following three items.

- I . Seasonal comparison of fractal dimensions in Chong Khneas(Comparison between rainy season and dry season)
- II . Yearly comparison of fractal dimensions in Chong Khneas (comparison between 2004 and 2012)
- III . Regional comparison of fractal dimensions

Analyze the above items in the following order.

- ① As the data used for the fractal dimension analysis, extract the image in the range necessary for the analysis from the aerial image of the target area.
- ② Using the extracted image, obtain the fractal dimension by the box counting method.
- ③ Grouping on the continuity of the fractal dimension at 17 zone in the 6 areas to be analyzed and analyzing the characteristics of each group.
- ④ Considering the relationship between the fractal dimension of each group and the collective form of the villages.

The results of the analysis are shown below.

- I . Seasonal comparison of fractal dimensions in Chong Khneas shows little difference in fractal dimension in both images of 2004 and 2012.
- II . Yearly comparison of fractal dimensions in Chong Khneas shows little difference in fractal dimension in both images of 2004 and 2012.
- III . Regional comparison of fractal dimensions shows The fractal dimensions differed depending on villages.

In this study, from the findings obtained by fractal dimension analysis of images, the relationship between seasonal movement and yearly change and collective form of villages is summarized as follows.

The collective form of the floating villages in Chong Khneas have the continuity of a certain space and furthermore that the fractal dimensions have the same continuity even in the change of the collective form of the seasonal movement in the floating villages in the rainy season and the dry season all right. It can be said that there is a certain tendency to the villages in the rainy season of the villages and the continuity (self-similarity) of the scale change.

*1 Graduate Student, Graduate School of Industrial technology, Nihon Univ.

*2 Part-time Lecturer, Dept of Architecture Collage of Industrial Technology, Nihon Univ., M. Eng.

*3 Professor, Dept of Electrical and Electronic Engineering Collage of Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

*4 Assist. Professor, Dept of Architecture Collage of Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

*5 Professor, Dept of Architecture Collage of Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.