

白川村荻町の合掌造集落における風環境変化の可視化の試み

早川 紀朱^{*}, 宮岡 大^{**}

Visualization of the Change in Wind Environment of the Gassho-style Houses in Shirakawa-mura Ogimachi

Noriaki HAYAKAWA^{*} and Futoshi MIYAOKA^{**}

(Received October 3, 2011)

In the historic villages of Shirakawa-mura, most of the gassho-style houses are on individual lots separated by cultivated plots of land, reflecting traditional land use. They are aligned parallel to the Sho River, giving a very harmonious and impressive landscape. It has been explained that the protection against the strong wind along the Sho River and the necessity to maintain a weak wind throughout the gassho-style roofs for the improvement of silkworm and cocoon production caused this characteristic village form. However, these points have never been shown in engineering analyses nor in quantitative surveys. In this study, the weak wind environment through the gassho-style houses in some areas of the village at the end of the Meiji period is visualized in comparison with the current environment using CFD analysis.

Keywords : Shirakawa-Mura, Gassho-style house, Wind Environment, CFD

はじめに

白川村荻町地区（以下荻町）の合掌家屋の離散的な集落形態は養蚕業とのかかわりの中で発展してきたとされている。古くから、「壮蚕は風で飼え」という諺があるように、良質の繭を得るためには壮蚕期の蚕は気流を必要とした。近世から現代にいたる流れの中で、荻町の集落景観には変化が見られるが、風をめぐる能力についても変化があったものと考えられる。そこで、本研究では近世と現代における荻町集落のCFD解析を行うことにより、風環境の変化の視覚化を試みたので報告する。

1 序

1-1) 背景と目的

荻町の合掌家屋の特徴は、1) 規模の大きさと屋根勾配の急傾斜、2) 小屋裏の積極的利用と妻面からの採光・通風の確保、3) 大屋根の架構方法の独自性、であるといわれている。こうした特徴は、積雪対策に加え、大空間を必要とする養蚕業との関連の中で発展したとされている^{1), 2)}。蚕の健全な生育と良質な繭の生成のためには空間の乾燥をもたらす適切な通風が必要であった^{3,4,5)}、注1,2,3,4)。一方で、庄川に沿い、棟の向きを揃えているのは、南北方向に一定して吹く風を考慮して妻面を南北に配し、風の抵抗を最小限にしたためであると指摘されている⁶⁾。このように「強風に対する防御」と「養蚕のための適風の確保」という相反する必要性が荻町の特異な集落形態に関係したといえそうである。

一方、現集落は養蚕業が盛んであった明治中期の旧集落と比較すると変化している。住民の生活様式の近代化、近年のツーリズムの発展、遺産の保存・継承を

^{*} 建築学科 (Department of Architecture)

^{**} 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 (The University of Tokyo, Graduate School of Engineering, Department of Architecture)

めぐる環境の変化等⁷⁾により、荻町の集落景観はさらにその秩序（空間構成）の根拠を失いつつあるという指摘がある⁸⁾。現集落は旧集落がかつて持っていた風をめぐらせる能力を失っている可能性がある。

こうした状況を踏まえて、この報告では旧集落と現集落の風環境変化の視覚化を試みた。具体的には養蚕業を土台とした荻町の極相期^{9), 注5)}の集落形態を過去の資料から類推復元し、現集落とともに計算機上でモデリングし、CFD解析により風環境を可視化、考察する。これにより、旧集落がかつて持っていた風をめぐらせる能力を現集落との比較のうえで相対的に示す。「風が集落の形態を決定した」という論は上述のように、多々述べられているが、工学的な方法によりこれを実証したものがない。本論は、旧集落と現集落の風環境の変化を相対的に示すことにより、これらの推論に対し一定の工学的な根拠を与えることを目指す。

CFD解析を行う場合、一般には計算結果の妥当性や、解析条件や乱流モデル等の設定のチューニングのため、検証用の測定データとの比較が必要不可欠である。このため、本報告におけるCFD解析だけでは定量的な評価はできない。将来的には養蚕に適した風速域に特化した家屋配置、家屋形態の工夫があったかどうかを議論したい。将来的な実測や、より条件を精密にした厳密なCFD解析の実施につながるような視座を提供することが本報告の意義だと考えている。

1-2) 対象地の概要

分析の対象とする荻町は、昭和51年（1976年）に農村集落としては数少ない重要伝統的建造物群保存地区に選定されている。また平成7年（1995年）には五箇山の合掌集落とともに世界文化遺産に登録されている。荻町は明治23年（1889年）に開通した旧国道156号線（現県道451号線）により、二つの性格の異なる集落構造をもつ（図1）。すなわち1) 合掌家屋が離散的に散在する農村的性格、と、2) 街路と隣家に家

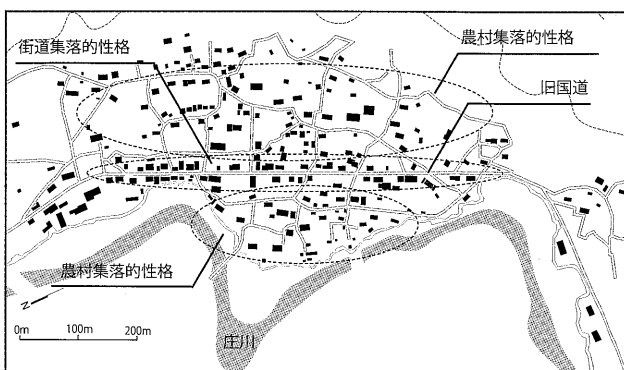


図1 荻町集落の農村的性格と街道集落的性格。図示した範囲に含まれる家屋の三次元モデルを作成する。

屋を接する街道集落的性格、である¹⁰⁾。今日われわれが合掌集落の代表としての荻町に抱くイメージは1)に依拠する。本論のCFD解析のために、この二つの構造を含む図1の範囲に含まれる家屋の三次元モデルを作成する。

2 研究・分析の流れ

荻町の旧集落と現集落を計算機上でモデリングし、CFD解析を行うために以下の二つの手順が必要となる。すなわち1) 文献をもとに現集落から旧集落を類推する手順、2) その類推をもとに現・旧集落の三次元モデルを作成する手順、である。CFD解析ではこうして作成した三次元モデルの一部を用いる。以下、3章、4章では上記2点の手順を順に説明する。

3 旧集落の類推

3-1) 現集落と旧集落の定義

現集落と旧集落を定義するに当たり、実測図面が豊富な以下の調査資料1、資料2を利用する。また旧集落の類推の確かさを確認するために、水ノ江らが作成した明治中期の土地利用図（資料3）と照らし合わせる。

資料1：『S49年度白川村荻町伝統的建造物群保存地区調査報告書』¹¹⁾

資料2：『S59年度白川村荻町 保存計画見直し調査報告書』¹²⁾

資料3：『白川村荻町一合掌造集落の環境資源報告書』¹³⁾

まず、資料2にある「附図1 屋根伏図」^{14), 注6)}に描かれている建物群を「現集落」と定義する（図2）。この図面には昭和59年（1984年）時点での荻町集落の屋根伏図、街路パターンが詳細に記述されている。図2はこの「附図1 屋根伏図」に描かれている屋根の外形と街路パターンをトレースしたものである。資料1、2で家屋の番号が異なっているが、本論では資料1にある「付図4-荻町家屋現況図」に付記されている番号で統一する¹⁵⁾。

一方、旧集落はこの現集落から、明治中期までに建設された家屋のみを拾い上げていくことで定義する。明治以前においては、ごくわずかな例外を除けば、民家は全て合掌造りであったとされるため¹⁶⁾、本論で分析の対象とする旧集落は原則的に合掌造家屋とする。

3-2) 文献からの旧集落の類推

資料1では町内127軒の家屋について建築概要（主に屋根架構）、推定建築年度、を記し、備考として移築などの経緯を付記している。まず資料1で明治後期以

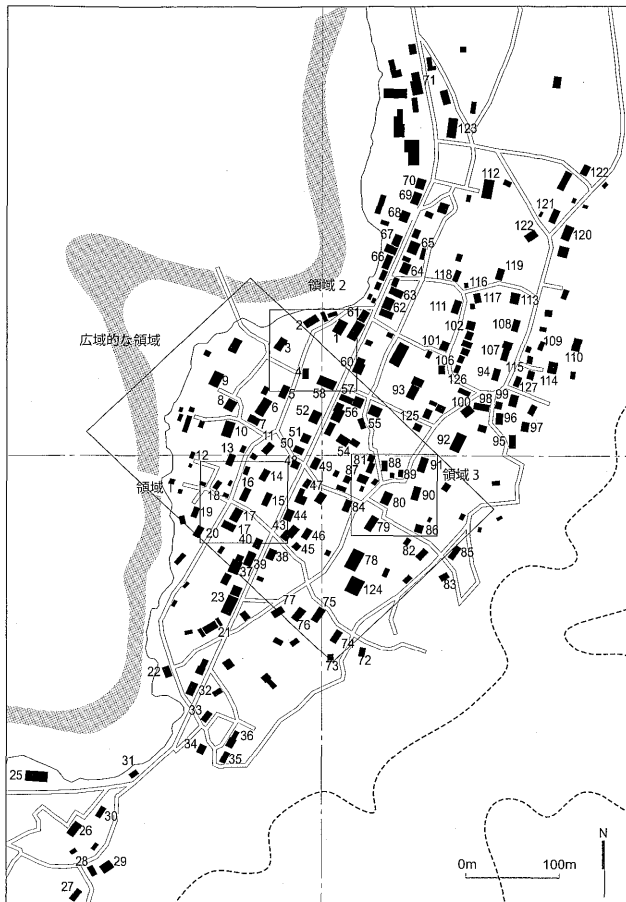


図2 現集落の配置図。番号は資料1の家屋番号を示す。

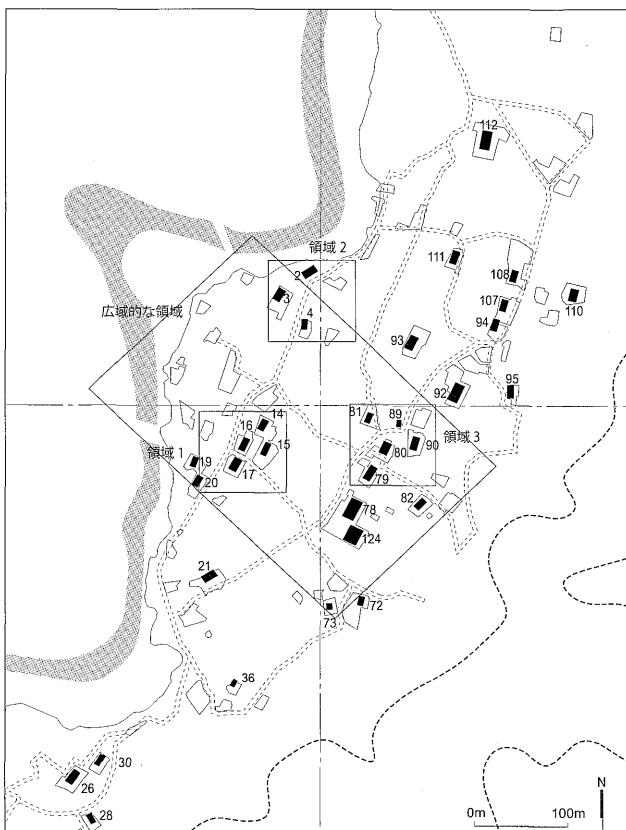


図3 現集落の配置図。番号は資料1の家屋番号を示す。

降に建設されたとあるもの、あるいは、合掌家屋との記載のないものを消去する。その際、屋根架構が「トタン葺き」とあるものでも、建築年代がはっきりしていて、かつて合掌家屋であったと明記されているものは残す。次いで、資料1の検証で旧集落の家屋として残したものから、資料2により他から移築してきたことが分かるものを消去する。この操作の一部を表で示す(表1)。この結果、33軒の家屋が旧集落として残った。

表1 『549年度白川村荻町伝統的建造物群保存地区調査報告書』調査リスト(抜粋)

資料1) の番号	屋根形式	資料1)の推定 建築年度	資料1)の備考	資料2)の備考 の番号	判定
1	合掌造り	E末期	民宿	39	鳩谷より移築
2	合掌造り	E末期	民宿	38	○
7	トタン葺二階建	S45改造	元合掌		
10	トタン葺二階建	M24改造			
13	合掌造り	S20移築	大牧より移築		

上記の過程で旧集落の家屋と判断した合掌家屋33軒を明治中期の土地利用図に重ね合わせる(図3)この図では宅地のみをトレースしてあるが、33軒の家屋はいずれも宅地の多角形のなかに納まる。したがって、文献間における家屋の位置と宅地の位置は符合する。

4 旧集落と現集落の三次元モデル作成

本論のCFD解析では、自然地形やテクスチャ等はモデリングせず、平坦な地盤の上に建物や集落の形態のみに純化したモデルで風環境のシミュレーションを行う。荻町は特徴的な自然地形の上に成立しており、地形、植栽や田畑といったテクスチャにより生じる局地的な風環境の差異に関しては改めて検証が必要になる。

各合掌家屋のモデリングに際しては、基本的に実測図が残っているものは利用し、残っていないものは類似したサイズのもので代替する。33軒の合掌家屋のうちNo.78、80、95、109、124以外の28軒は平面図の実測図が存在する。また、33軒の合掌家屋のうち22軒については立面図の実測図が存在する^{注7)}。

資料2)の平面実測図では合掌部分の「梁間x桁行寸法」を明記している(図4)。多くの家屋は実測時点で増築等を行っており、明治中期の家屋形態の実態は正確には分からない。そこで、下屋等はモデリングせず、合掌部分のみモデリングする。一階平面図を「梁間x桁行寸法」による単純な矩形で表現し、階高を与えて単純な直方体で表現する。図面に階高が明記されていないものについては一律に3.2m(階高の平均値)とする。

合掌家屋の合掌屋根部分はアマと呼ばれる。アマ内



図4 No.28の家屋の立面図(右上)、断面図(右下)、平面図(左)

部は一室空間として扱う(図5、6)。アマ内部を多層に仕切る竹の簀の子は多孔質であり、通風が存在するためである。

本論で使用する汎用流体解析プログラムでは、アプローチ風に対して斜めの建物壁面を階段状にして形状をモデル化する。このようなモデル化を行った場合、建物表面の粗度が大きくなることで周辺気流へ影響を及ぼす。そのためメッシュサイズについて十分に細かいメッシュサイズとしたい。しかし、広範囲の解析のためには、計算処理環境の問題からメッシュサイズを大きくする必要がある。このため広域的な分析と局所的な分析に分け、それぞれアマのモデル表現を変える。広域的な分析では、アマ表面は全面開口とする(図5)。この場合、開口サイズは過大評価されるので結果の解釈に注意を要する。一方、局所的な分析ではアマ表面の実測図をトレースして開口部に穴を設ける(図6)。

現集落の合掌家屋については、旧集落のものと同様に、実測図が存在するものは実測図をもとにモデルを

作成した。非合掌家屋に関しては、2階建ての家屋が多いとの指摘をふまえ¹⁷⁾、家屋の輪郭に一律に6.5mの高さを与えた矩形のボリュームとして表現した。以上の手順で作成した旧集落の三次元モデル(図7)と現集落の三次元モデル(図8)を示す。ここでは局所的な解析に使用したモデルのみを示す。

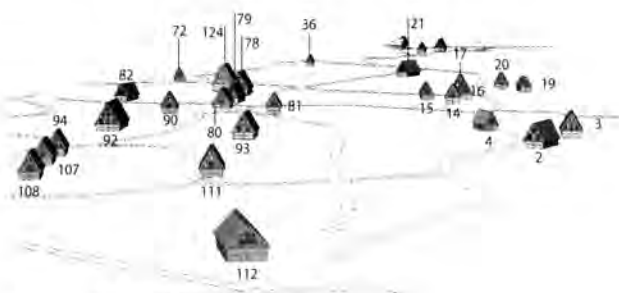


図7 旧集落の三次元モデルの俯瞰図

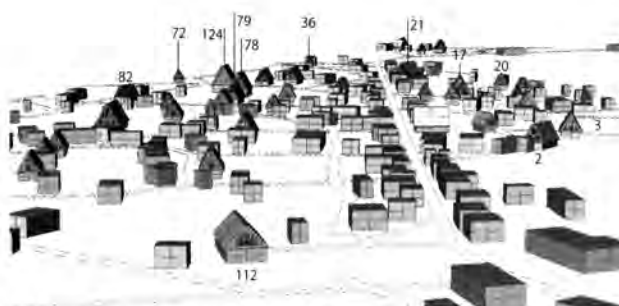


図8 現集落の三次元モデルの俯瞰図

5 CFD 解析

本論におけるCFD解析は、複数の家屋の室内と屋外を一体的に解析する。広域的な領域を1か所と局所的な領域を三か所を対象とする。図2、3中にそれぞれの領域を示す。

5-1) 数値計算の概要

広域的な解析では、解析対象領域はX方向360m×Y方向240m×Z方向30m、計算対象領域はX方向500m×Y方向900m×Z方向150mとした。また解析対象領域内ではX方向2m×Y方向2m×Z方向2mの等間隔メッシュとした。また、解析対象領域外では、外側の境界に向かって徐々に大きくなる不等間隔メッシュとした。全体の格子分割は、 $225 \times 321 \times 80 = 5,778,000$ メッシュ分割となる。

局所的な解析では、解析対象領域はX方向90m×Y方向90m×Z方向30m、計算対象領域はX方向360m×Y方向360m×Z方向90mとした。また解析対象領域内ではX方向0.5m×Y方向0.5m×Z方向0.5mの等間隔メッシュとした。また、解析対象領域外では、外側の境界に向かって徐々に大きくなる不等間



図5 広域的な分析における、No.28の家屋のモデリング。断面図(左)、アイソメトリック図(右)



図6 局所的な分析における、No.28の家屋のモデリング。断面図(左)、アイソメトリック図(右)

隔メッシュとした。全体の格子分割は、 $283 \times 283 \times 72 = 5,766,408$ メッシュ分割となる。メッシュ間隔は、合掌家屋アマの開口部を表現できるサイズを念頭において設定しているが、開口サイズはX、Y、Zの各方向で±0.5mの誤差が生じることに留意する必要がある。

設定条件を表2、表3に、局所的な解析の概念図を図9に示す。

以上のメッシュ化の条件のもと、CRADLE社のCFD解析ソフト「STREAM」を用いて、定常解析を行った。乱流モデルには標準k-εモデルを用いた。この乱流モデルはベンチマークテストにより、屋上面での剥離や逆流、地表面付近の風速分布の精度に対する問題が指摘されているが¹⁸⁾、本論では、高さ4.5mの風環境を主な分析対象としており、これらの影響は小さいと判断した。

気流の設定は、養蚕業の盛んな時期である5～9月の主風向とその平均風速を標準アメダス気象データ¹⁹⁾より求め、地表から高さ6.5mの風速2.1m/sとして1/5べき乗則で流入境界条件を設定した。風向は主

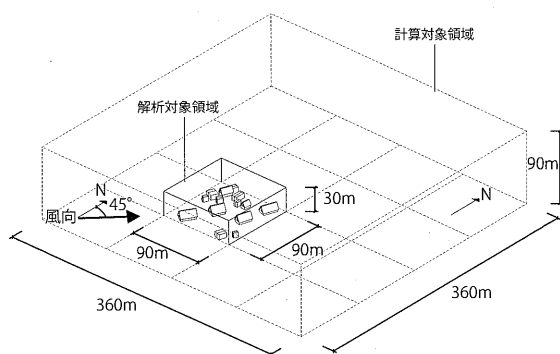


図9 解析空間の概念図

表2 広域的なCFD解析の概要

解析ソフト	STREAM for Windows V8 (CRADLE)
乱流モデル	標準k-εモデル
解析領域	500m(X) × 900m(Y) × 150m(Z)
メッシュ分割	225(X) × 321(Y) × 80(Z) 計 5,778,000 メッシュ
解析方法	定常解析 (SIMPLE 法)
移流項スキーム	QUICK
流入境界条件	風速：南西 2.1m/s 北東 2.1m/s 高さ 6.5m 1/5 べき乗則に従う 乱流強度：0.25
流出境界条件	勾配ゼロ
地表面、建物境界条件	一般化対数則
側面、上空境界条件	slip 面

表3 局所的なCFD解析の概要

解析ソフト	STREAM for Windows V8 (CRADLE)
乱流モデル	標準k-εモデル
解析領域	360m(X) × 360m(Y) × 90m(Z)
メッシュ分割	283(X) × 283(Y) × 72(Z) 計 5,766,408 メッシュ
解析方法	定常解析 (SIMPLE 法)
移流項スキーム	QUICK
流入境界条件	風速：南西 2.1m/s 北東 2.1m/s 高さ 6.5m 1/5 べき乗則に従う 乱流強度：0.25
流出境界条件	勾配ゼロ
地表面、建物境界条件	一般化対数則
側面、上空境界条件	slip 面

風向である南西とした。流出境界は勾配ゼロ、上空境界は free-slip 条件、地面・壁面境界は一般対数則条件とした²⁰⁾。計算アルゴリズムは SIMPLE 法、移流項スキームに QUICK を適用した²¹⁾。また、本解析では、風環境のみを計算対象とし、熱の解析は行わない^{注9)}。

以上の条件で気流計算を実行した結果を GL+4.5m の高さで可視化した。以下に領域順に考察する。

5-2) 広域的な解析結果

旧集落 (図10) と現集落 (図11) の風速分布傾向を可視化した図を示す。白黒の濃淡で示した図のうち、真黒なのは風速 3.2m/s を示し、真白なのは風速 0m/s (無風) を示す。

旧集落は各家屋に風が到達し、沢山の流星が群になって尾を引いているような気流分布となっている。家屋の風下では一時的に風速は弱まるが、家屋間に距離があること、また、近くに位置している家屋も千鳥状にずれているため、風は回復している。

一方、現集落では風が到達しづらくなっている家屋が見られる。これは風道上に、他家屋が障害物のように立ちふさがったためである。風道が一旦遮られると、その風下にある家屋が風を得る機会は減る。

5-3) 局所的な解析結果

次いで、局所的な解析結果を見る。ここでは養蚕適風が 0.1m/s ～ 1.0m/s の風速という点にも着目してみる^{注1,2,3,4)}。解析図中、四角で囲った数値は家屋番号を、家屋内で下線を記した数値はその家屋内での最低風速値を示す。

領域1の旧集落 (図12) では、No.17には養蚕適風が存在するが、その風下となるNo.16では0.05m/s程度の弱い気流となり、No.14ではほぼ無風となっている。これは家屋の間隔がやや狭く、No.17の風下で気流のポテンシャルが低くなっていることが一因と考えられる。また、No.14においては合掌家屋の開口部が小さいことも一因と考えられる。No.15の気流がやや弱いのも同様の理由であると考えられる。旧集落ではあっても、条件によっては養蚕適風とならない場合があることが分かるが、これについてはメッシュ化の影響も考えられる。小さな家屋はメッシュ化による誤差が大きく出る。領域1の現集落 (図13) では、No.17は前面に新No.17が置かれたため、屋内の気流が弱まっている。その他の家屋には大きな変化はない。

領域2の旧集落 (図14) の屋外では気流は滑らかで乱れはほとんど見られない。屋内では、千鳥状に並んだNo.3、4には養蚕適風が存在するが、No.3の風下に位置するNo.2では0.05m/s程度のわずかな気流となる。一方、領域2の現集落 (図15) ではNo.2、3

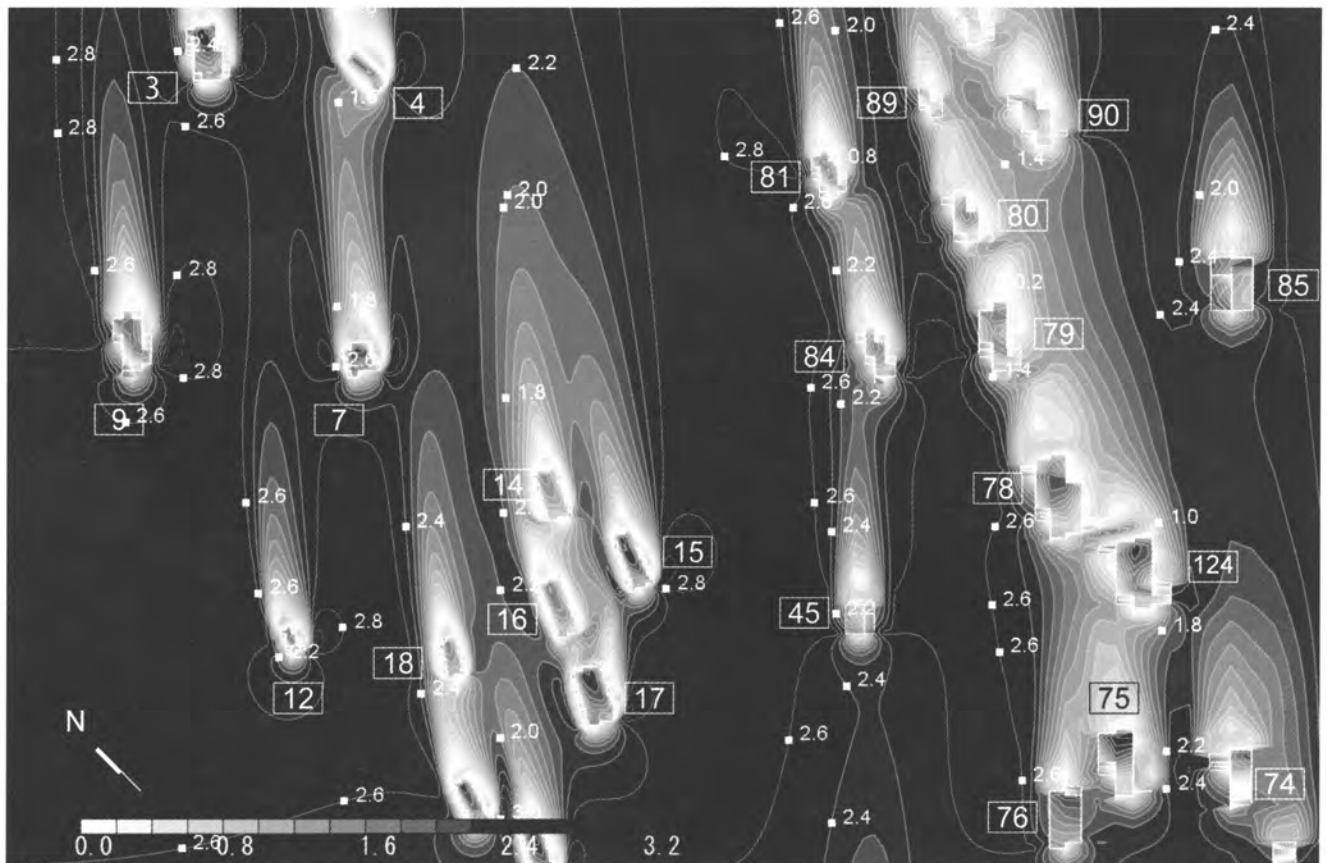


図 10 旧集落の風速分布図。 四角で囲んだ数値は家屋番号を、囲みなしでポツ点の後ろの数値は風速を示す。

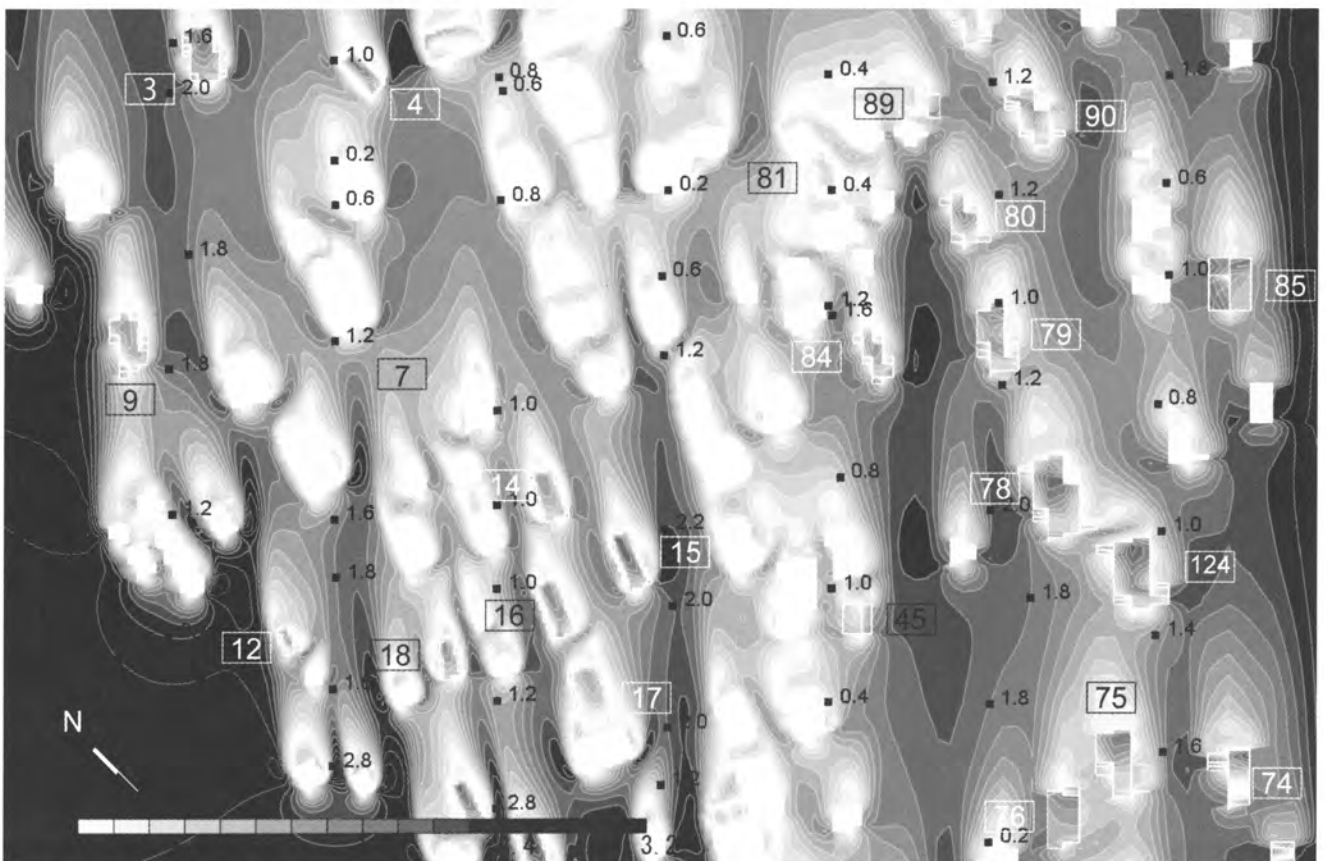


図 11 現集落の風速分布図。

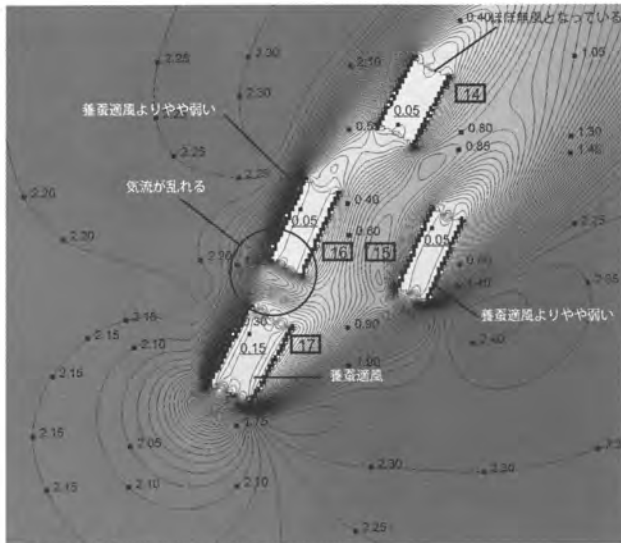


図 12 領域 1、旧集落の気流の分布

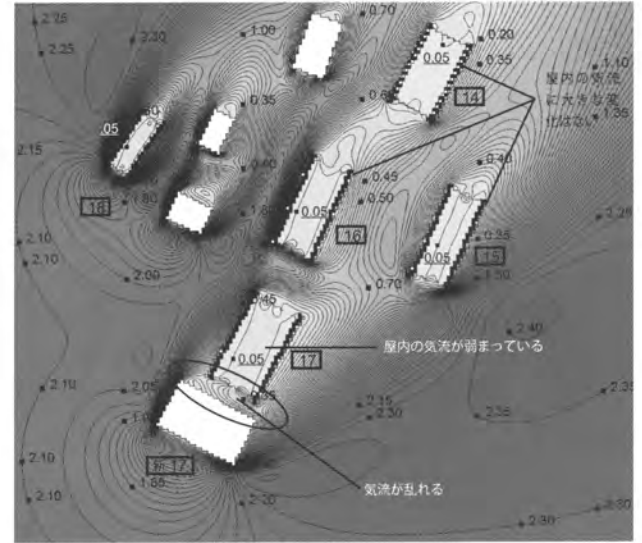


図 13 領域 1、現集落の気流の分布

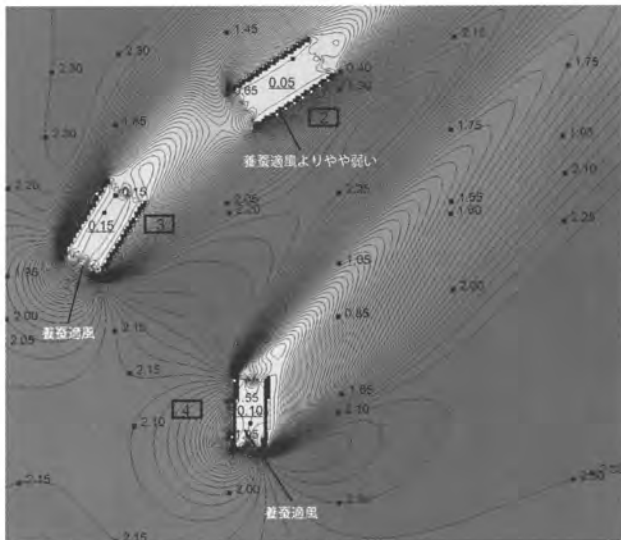


図 14 領域 2、旧集落の気流の分布

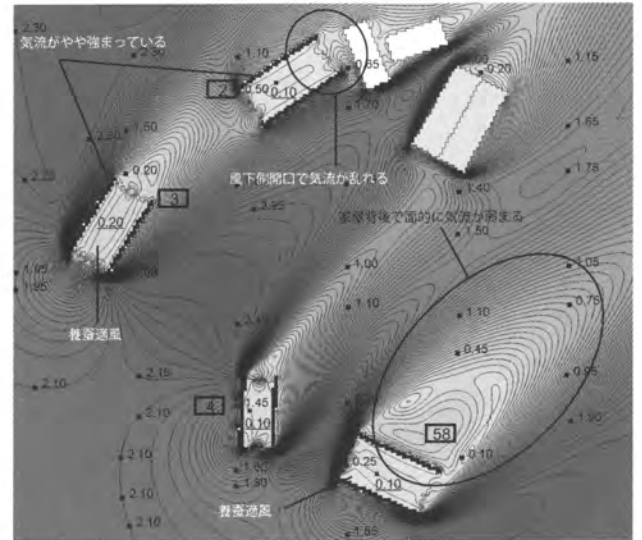


図 15 領域 2、現集落の気流の分布

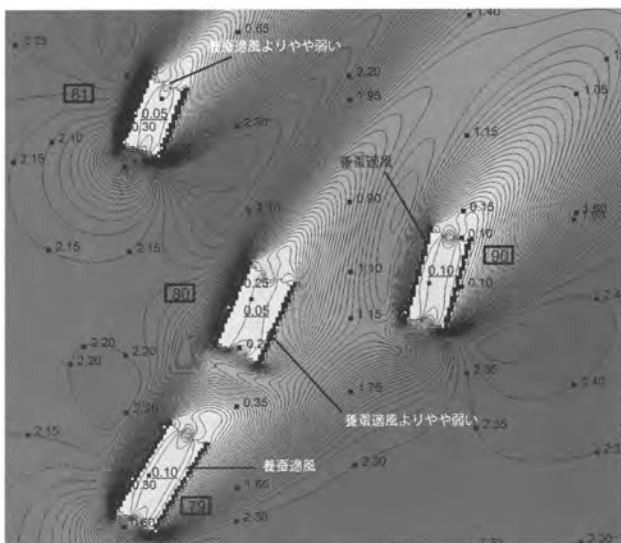


図 16 領域 3、旧集落の気流の分布

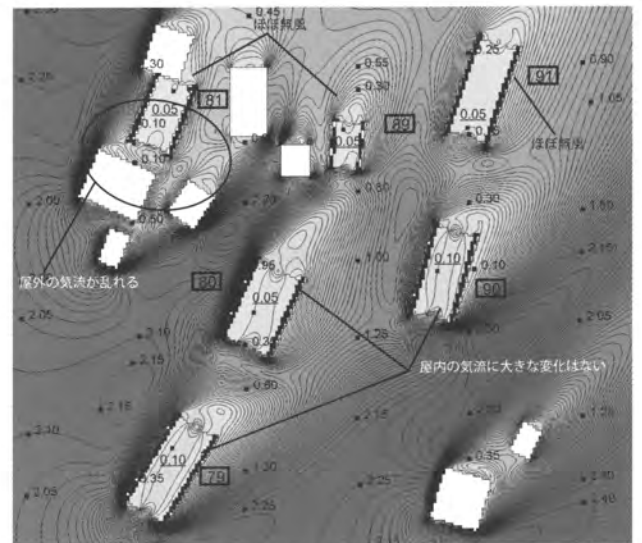


図 17 領域 3、現集落の気流の分布

では逆に気流はやや強くなっている。No.2の風下に置かれた建物が気流の乱れを生み、No.2、3内部の気流に変化を与えていると考えられる。また、No.58は他所から移築されたものである。他の合掌家屋と異なり東西に開口部を向けているのが特異であるが、養蚕適風は存在する。風向に直交する向きにも関わらず屋内気流が存在するのは、No.58が大型の合掌家屋であり、開口部を多数有するためではないかと考えられる。ただし棟を東西に向けたため、風下側で面的に気流のポテンシャルが下がる。

領域3の旧集落(図16)の屋外では気流は滑らかで乱れはほとんど見られない。屋内では、千鳥状に並んだN.79、90には養蚕適風が存在する。また、No.80、81は0.05m/s程度のわずかな気流となる。これは合掌家屋の開口部が小さいことが一因と考えられる。また、No.80についてはNo.79の背後に位置していることも影響していると考えられる。一方、領域3の現集落では(図17)No.79、80、90の気流には変化が無いが、No.81でわずかに存在した気流はほぼ無風となった。これはNo.81の周りに建物が建て込み、屋外の気流が乱れたことが一因と考えられる。

6 まとめ

本研究は荻町の明治中期の旧集落と現集落における風環境の変化を相対的に示すことを目的とし、CFD解析により両集落の合掌家屋内外の風環境を、合掌内部にあたるGL+4.5mの高さで可視化した。

合掌家屋の妻面を全面開口とした広域的なCFD解析では旧集落は各戸に風が流れ込む集落配置となっていたことを確認できた。妻面に設けた開口部から、合掌内部への風を確保できるように、左右に少し、そして、前後には大きめに距離を取りながら、扁平な千鳥配置としたのではないかと考えられる。一方で、集落全体としては、新しく家屋が建てこんできたために、集落を通過する風が減少してきていることを把握した。

また部分に着目すると、風の流入、流出部に家屋を建設した場合には、合掌内部の風の流れが妨げられることを把握した。集落全体における風の減少は、このように新しい家屋が建てこんだことにより、集落内部の風道が閉ざされたことに一因があると考えられる。

一方で、風が減少したからといって養蚕に適さない環境になったかといえば、必ずしもそうとも言えない。したがって、養蚕適風を得るためにかつての分散配置となったかどうかの検証は課題が残る。

分析の手法に関しても課題が残る。本論は計算機上でのシミュレーションの過程で、モデルの簡素化を行っている。たとえば自然地形は平坦なものとして扱っ

た。また、現集落の建物高さについては一律で6.5mと設定したため、正確さには欠ける。メッシュサイズも開口部を表現するために十分な細かさとも言い難い。CFD解析自体の計算条件も限定的である。こうした問題点を解消するには、非合掌家屋なども含めたさらなる実測図の整備、より詳細なメッシュ化によるCFD解析、実測による現集落の風環境との整合性の確認、熱の影響の配慮など、複合的な研究の展開が必要となろう。そうすることではじめて、風環境という視点から、養蚕業に立脚した集落の景観保全を考える際の指針を打ち出すことができるようになると思う。本論がこうした将来的な研究に対する視座となることを期待している。

参考文献

- 1) 白川村教育委員会：白川村の合掌造集落 - 重要伝統的建造物群保存地区白川村荻町 保存計画見直し調査報告書、白川村・白川村教育委員会発行、p.68、1984
- 2) 白川村教育委員会：昭和49年度白川村荻町 伝統的建造物群保存地区調査報告書、白川村・白川村教育委員会発行、p.34、1974
- 3) 前掲1)、p.82
- 4) 蚕業技術研究所：養蚕、財団法人 大日本蚕糸会、2010
- 5) 日本蚕糸学会編：改訂 蚕糸学入門、財団法人 大日本蚕糸会、2002.3
- 6) 前掲1)、p.53
- 7) 九州大学大学院芸術工学府 都市環境設計研究室：白川村荻町一合掌造集落の環境資源、(財)世界遺産白川郷合掌造り保存財団、p.2、2006
- 8) 前掲7)、p.6
- 9) 水ノ江 秀子他：明治中期の土地利用にみる合掌造り集落の空間構成と伝統的景観：白川村荻町伝統的建造物群保存地区を事例に、日本建築学会計画系論文集、vol.622、pp.91-96、2007
- 10) 前掲1)、p.37
- 11) 前掲2)
- 12) 前掲1)
- 13) 前掲7)
- 14) 前掲1)
- 15) 前掲2)、別図
- 16) 前掲1)、p.84
- 17) 前掲1)、p.79
- 18) 日本建築学会：市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブック - ガイドラインと検証用データベース -、丸善、vol.635、2007.7
- 19) 日本建築学会「拡張アメダス気象データ」、丸善、2000
- 20) 前掲18)
- 21) 前掲18)

注

注1)「古くから、「壮蚕は風で飼え」という諺があるように、蚕が

気流を最も必要とするのは壮蚕期、とりわけ5 齢期である」とある。
前掲 5)、p.224

注 2)「特に壮蚕では気温が 30℃以上になった場合は、秒速 0.1～0.5m の速さで通風することが必要である。しかし蚕座にあまり速い気流を当てることは桑葉のしおれを早めるから、幼蚕期には極端な高温または多湿でない限り通風を激しくして気流を強めることは望ましくない」とある。前掲 4)、p.85

注 3) 蚕は 5 齢期の 7～9 日目になると食桑をやめて、糸を吐きはじめ。このようになった蚕を熟蚕とよび、熟蚕に繭をつくる場所を与える仕事を上簇と呼んでいる。前掲 4)、p.119

注 4) 上簇中は「補温はまず除湿が目的であるから、扉や窓などの通気口はできるだけ解放する。気流のいずれの場合でも 1m/s 以下のわずかな速さのものが適当であって、速すぎると熟蚕の足場づくりが遅れたり、異常繭をつくる。」とある。前掲 4)、p.128

注 5) 水ノ江らは荻町集落の極相期を明治中期であったと指摘している

注 6) 現時点では CFD 解析結果の数値と現実の実測値との一致は確認できない。また、熱による温度差換気を考慮していない。そのため、解析結果の風速値が養蚕適風であったかどうかは、あくまで目安となろう。

注 7) No.7、9、12、62、64、84、91 は合掌造りからトタン葺きに改造されたため、立面図の実測図が存在しない。さらに No.78、80、109、124 は合掌造りではあるものの立面図が存在しない。

注 8)「拡張アメダス気象データ」に収録されている白川観測所（大野郡白川村鳩谷字北長）の標準年における 1 時間毎の風速・風向データから求めた。

注 9) 熱の影響について考慮した場合には、合掌家屋の熱容量の効果によって、室内温度が外気温に比べて安定し、外気との温度差換気が予想される。さらに、一階の暖かい空気による上昇気流が、通風をさらに促すことも期待され、計算結果の風速より大きくなると考えられる。