

換気・通風性能簡易評価ツール

プレ

コアシステムより計算条件、CADデータを受け取る。
格子分割、境界条件の設定

ソルバー

キャンピーモデルによる大領域の風速の計算
大領域計算結果をマッピングし、中領域の風速の計算
キャンピーモデルをマッピングし、中領域の濃度の計算

ポスト

平均運動エネルギーと換気回数の算出
ワイブルパラメータを用いて超過確率の算出
評価対象領域の断面コンター画像の出力

OpenFOAM
を使用

pvbatchを使用

一般化キャンピーモデルについて

速度(u_i)、乱流エネルギー(k)、乱流エネルギー散逸率(ε)について、障害物による流体力の影響を表す付加項を輸送方程式に追加している。

現状のツールでは建物キャンピーのみを用いているが、樹木キャンピーにも適用できるモデルであるため必要に応じ機能を追加することができる。

一般化キャンピーモデルの付加項

$$f_{\bar{u},i} = -\frac{1}{2}\rho C_f \frac{\gamma_o}{l_o} |\bar{u}| \bar{u}_i$$

$$f_k = \frac{1}{2}\beta_p \rho C_f a |\bar{u}|^3 - \frac{1}{2}\beta_d \rho C_f a |\bar{u}| \bar{k}$$

$$f_\varepsilon = \frac{1}{2}C_{p\varepsilon 1}\beta_p \rho \frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{k}} C_f a |\bar{u}|^3 - \frac{1}{2}C_{p\varepsilon 2}\beta_d \rho C_f a |\bar{u}| \bar{\varepsilon}$$

ρ :密度[kg/m³], C_f :等価抗力係数, γ_o :占有率, l_o :代表長さ[m],
 a :建物表面積密度[m⁻¹], β_p , β_d , $C_{p\varepsilon 1}$, $C_{p\varepsilon 2}$:モデル係数

【参考文献】榎木康太、石原孟：一般化キャンピーモデルの提案と都市域における風況予測への応用，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol. 68, No. 1, pp.28-47, 2012.

一般化キャンピーモデルについて

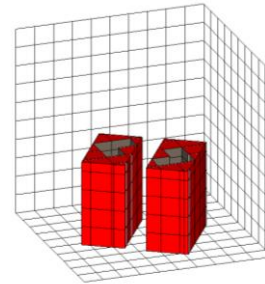
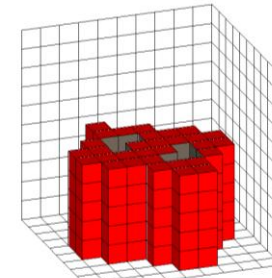
一般化キャンピーモデルの付加項に必要なパラメータのうち占有率 γ_o と代表長さ l_o が障害物から得られればその他のパラメータを算出することが出来る。

本ツールでは計算時間短縮のため建物内に完全に含まれるセルと建物境界面を含むセルにそれぞれ解析領域全体での平均値を一律に与える簡易的な方法を用いている。

占有率 γ_o

建物内に完全に含まれるセル $\gamma_{o,in} = 1$

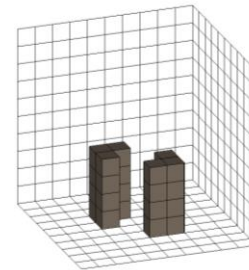
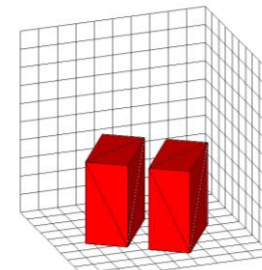
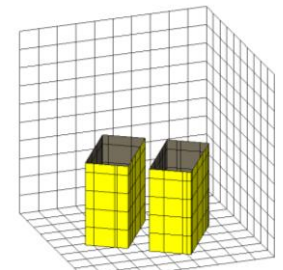
建物境界面を含むセル $\gamma_{o,s} = \frac{V_{u,s}}{V_{grid,s}}$


 $V_{u,s}$

 $V_{grid,s}$

代表長さ l_o (障害物の奥行き長さ)

建物内に完全に含まれるセル $l_{o,in} = \sqrt[3]{V_{u,in}}$

建物境界面を含むセル $l_{o,s} = \frac{V_{build}}{\frac{S_u}{4}}$


 $V_{u,in}$

 V_{build}

 S_u

キャンピーモデルの精度検証

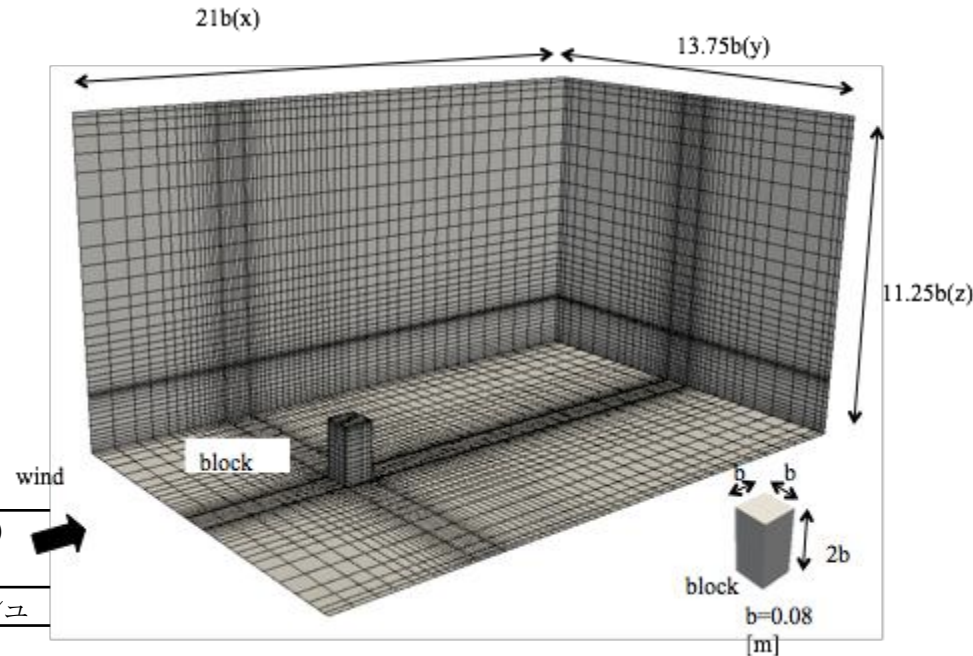
「日本建築学会：市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブックガイドラインと検証用データベース—2007年」の「2:1:1角柱周辺流れ」による検証

- ・キャンピーモデルCFD
- ・建物再現モデルCFD
- ・風洞実験

の風速と乱流エネルギーの値を比較した。

計算条件

計算領域	$21b$ (xdir) \times $13.75b$ (ydir) \times $11.25b$ (zdir) $b=0.08\text{m}$ (風洞実験と同じ大きさ)
メッシュ分割	60 (xdir) \times 45 (ydir) \times 39 (zdir) = 105,300メッシュ
移流項差分スキーム	U、k、 ϵ すべてQUICK
側面、上空境界条件	Slip壁
建物、風洞面床境界条件	粗度長 $z_0=1.8 \times 10^{-4}$ とする一般化対数則
流入境界条件	U、kは実験結果を補間 ϵ は局所平衡仮定による
周出境界条件	勾配ゼロ
乱流モデル	LKモデル
占有率 γ_0	0または1 ←
代表長さ l_0	0または0.08
収束判定条件	相対残差ノルム 5×10^{-4}



2:1:1角柱周辺流れ
の計算格子(建物再現モデル)

キャンピーモデルは占有率が0
と1のみになるように
格子分割を行っている。

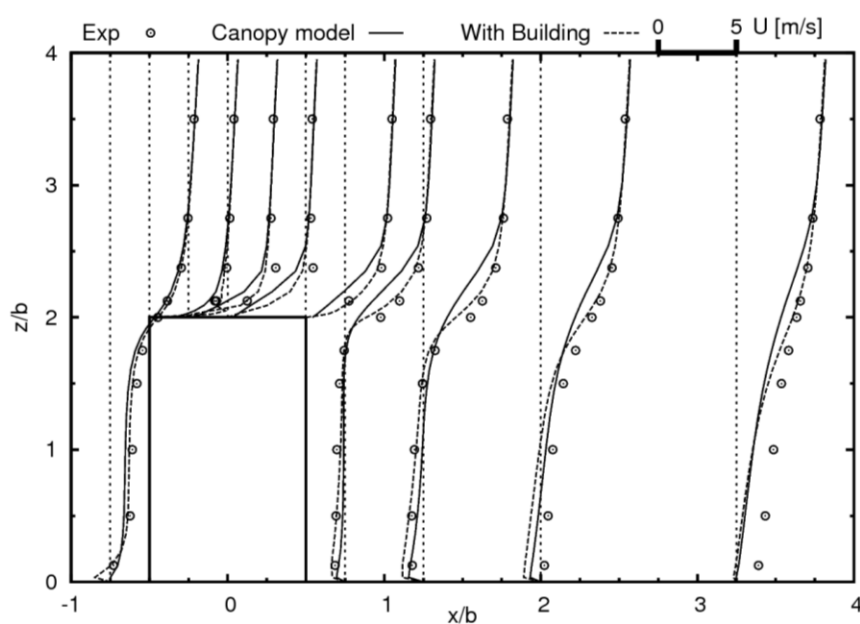
キャンピーモデルの精度検証

計算結果

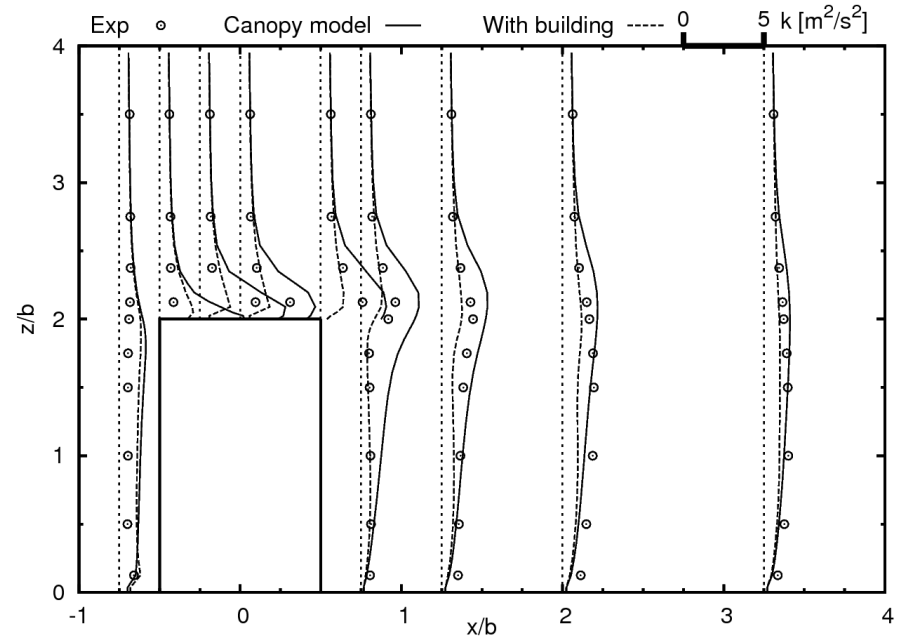
キャンピーモデルのCFDの結果は建物上面付近で実験値に比べ以下の傾向があった。

- ・風速の変化がややなだらか
- ・乱流エネルギーがやや大きい

全体としては建物再現CFD,実験値と比較的よく一致する結果となった。



風速(xdir)の比較 (m/s)



乱流エネルギーの比較 (m²/s²)

キャンピーモデルの精度検証

「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—2007年」の「新潟市内低層建物密集地流れ」による検証

- ・キャンピーモデルCFD
- ・建物再現モデルCFD

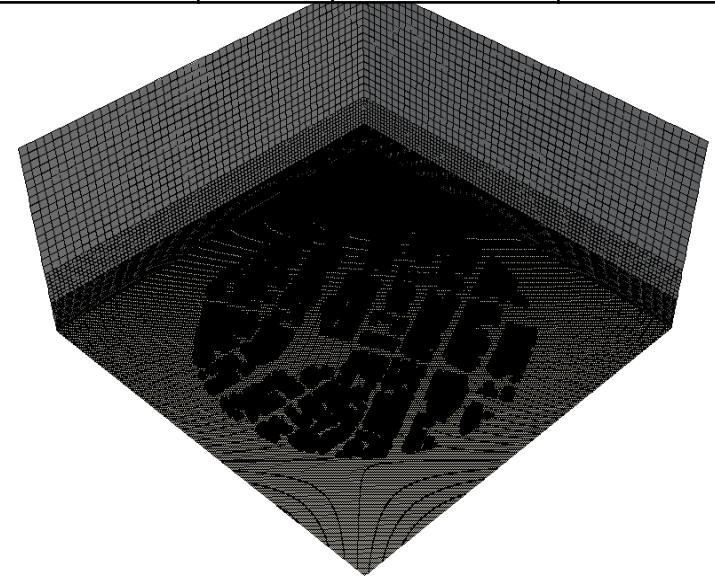
についてキャンピーモデルCFDのメッシュサイズ毎に精度と計算時間の検討

計算条件

計算領域	2m(xdir) × 2m (ydir) × 1m (zdir) (風洞実験ターンテーブル直径1.6m 模型縮尺1/250)
移流項差分スキーム	U、k、ε すべて一次風上
上空境界条件	slip壁
建物、地表面境界条件	一般化対数則
流入境界条件	風向：NNE U、kは実験結果を補間 εは局所平衡仮定による
流出境界条件	勾配ゼロ
乱流モデル	LKモデル
占有率γ0	図4参照
代表長さl0	図5参照
収束判定条件	相対残差ノルム 1×10^{-3} 以下

計算ケースとメッシュ数、基準メッシュサイズ

		メッシュ数	基準メッシュサイズ
建物再現モデル		2,226,196	1.32m
キャンピーモデル	Case1	1,732,608	1.32m
	Case2	700,416	2.64m
	Case3	184,320	5.27m
	Case4	55,296	10.54m



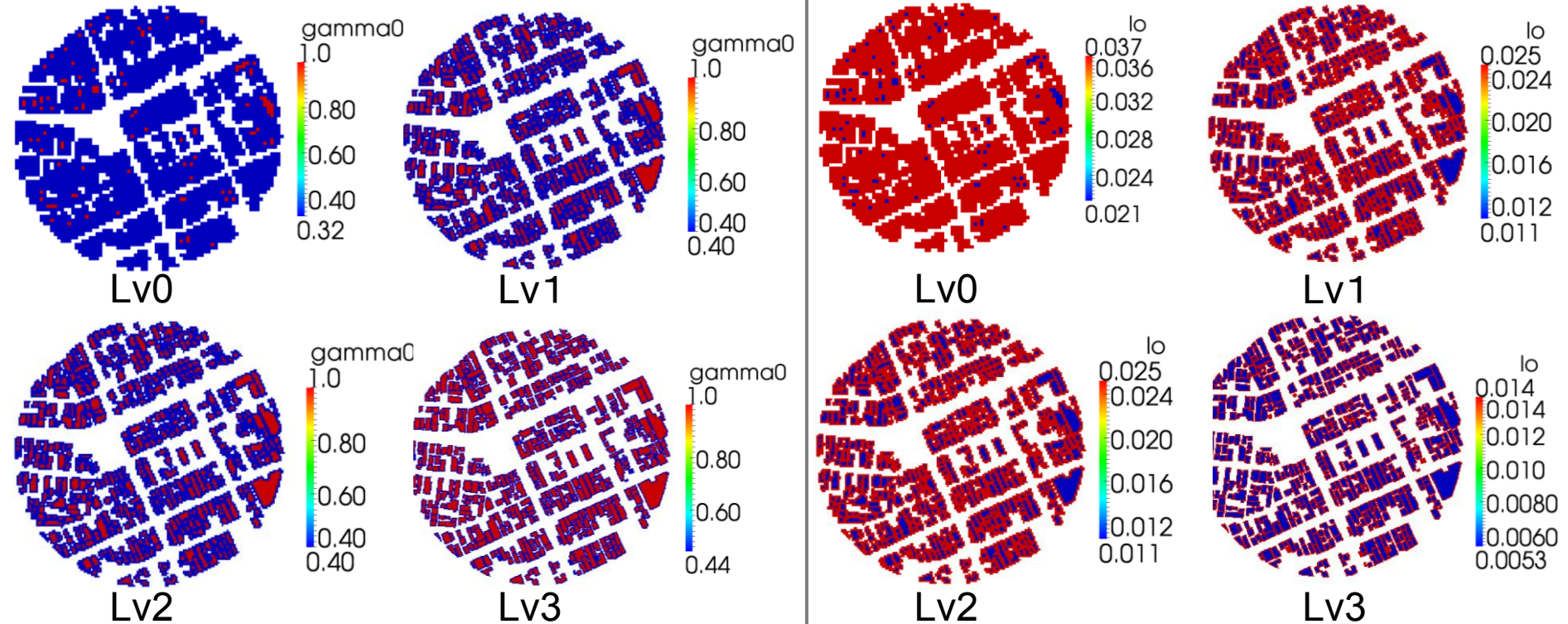
新潟市内低層建物密集地流れの計算格子
(建物再現モデル)

キャンピーモデルの精度検証

メッシュサイズの違いによりキャンピーモデルのパラメータ分布は以下ようになった。

占有率 γ_0 の分布

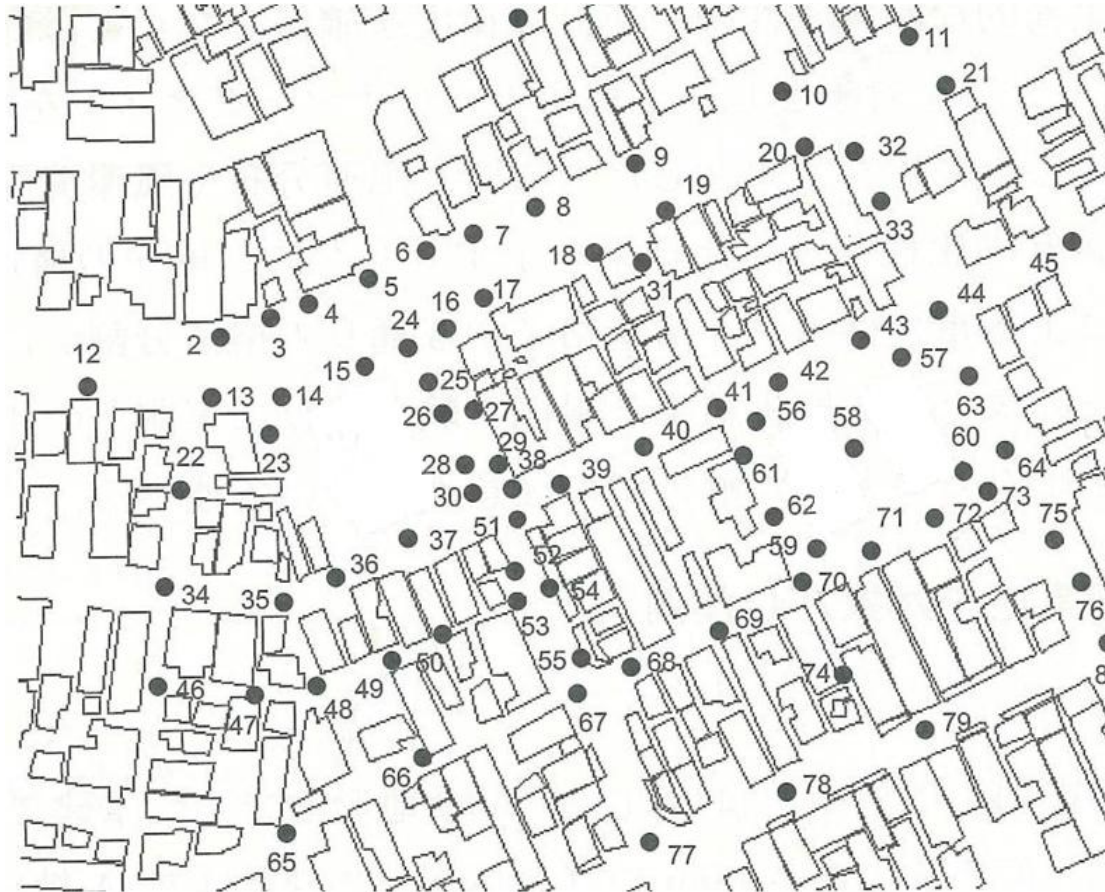
代表長さ l_0 (m) の分布



基準メッシュサイズから8分木分割(n)回をLv(n)と表記する。

キャンピーモデルの精度検証

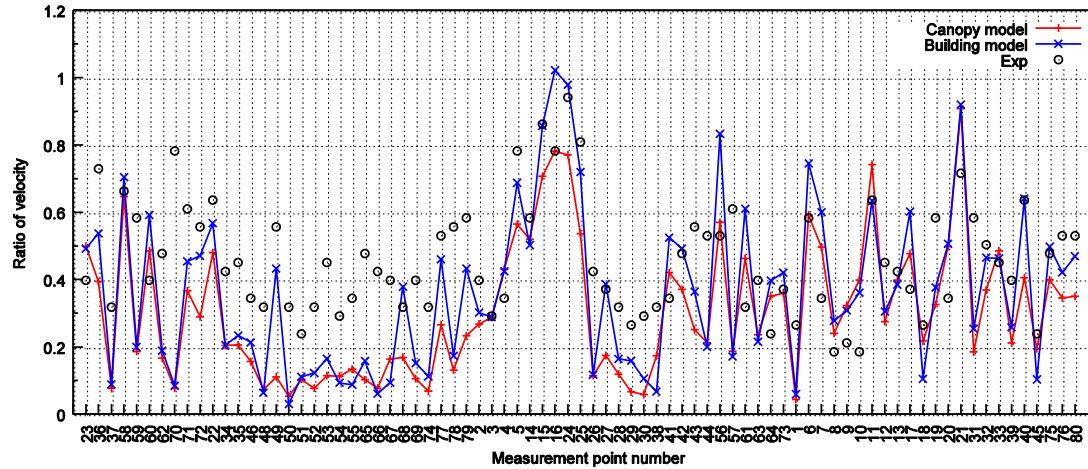
市街地中央付近の以下の計測点での**風速比**($h=2\text{m}$ 流入風速との比)を比較しRMSE(2乗平均平方根誤差)によって格子サイズによる精度の違いを比較。



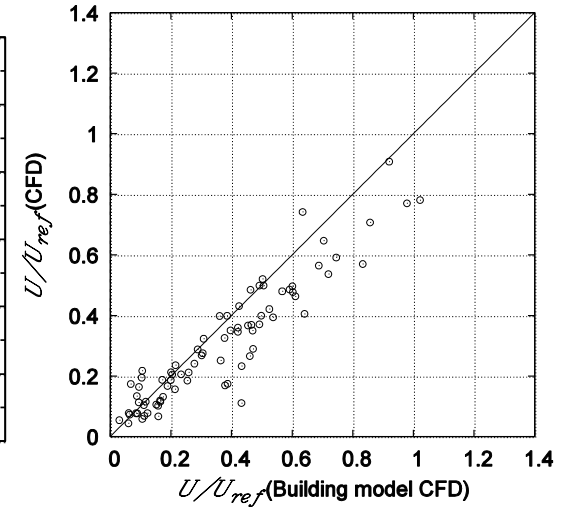
キャンピーモデルの精度検証

計算結果

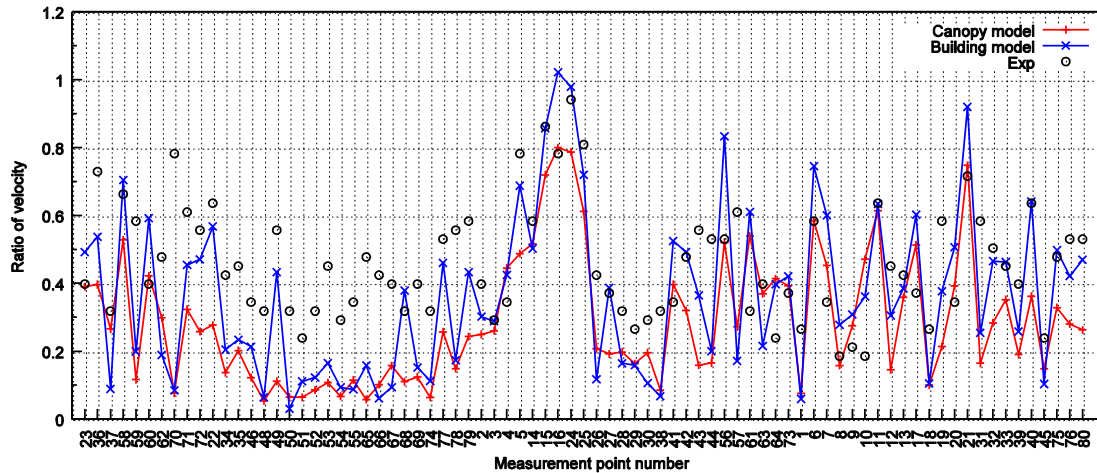
Lv3



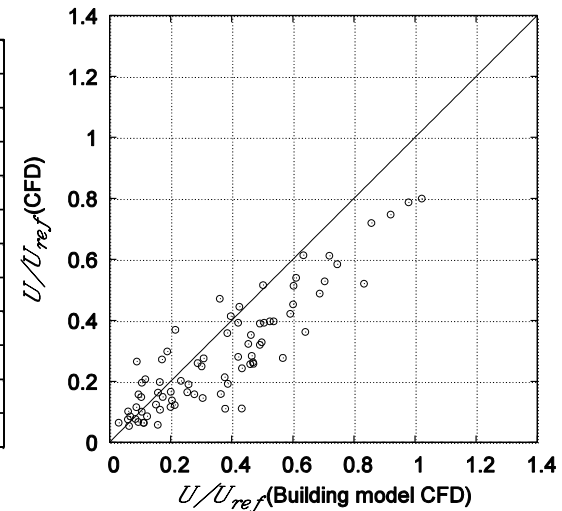
RMSE=0.107



Lv2



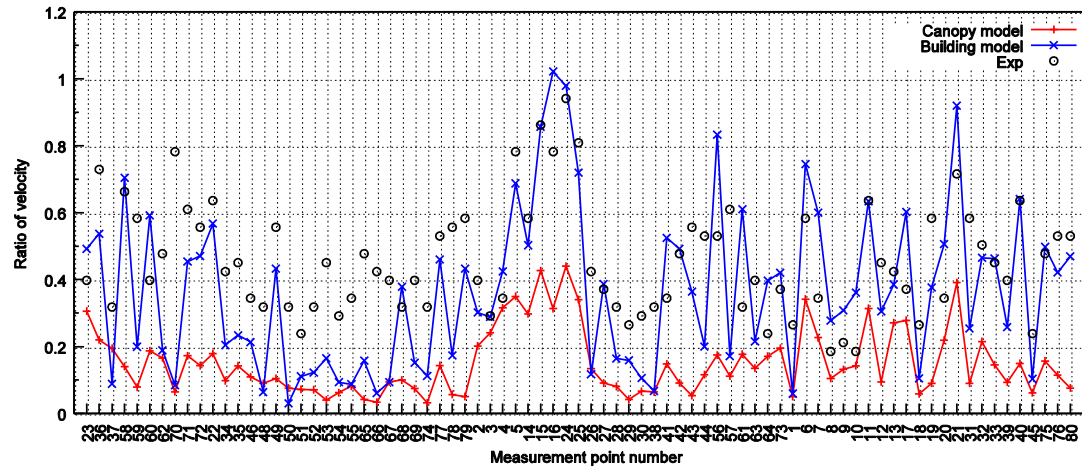
RMSE=0.135



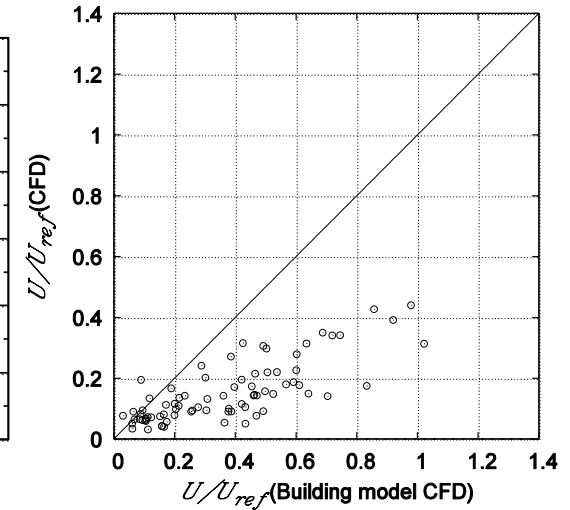
キャンピーモデルの精度検証

計算結果

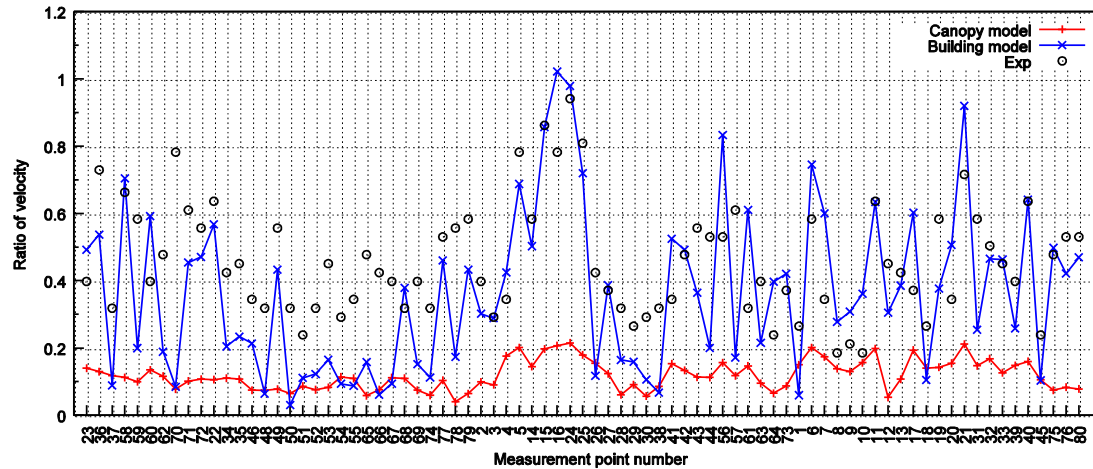
Lv1



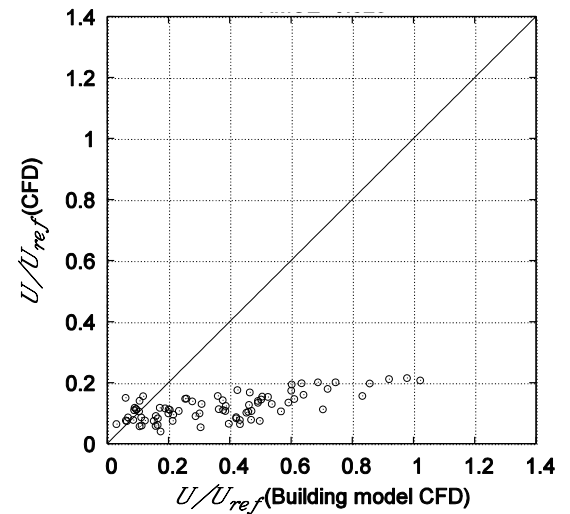
RMSE=0.276



Lv0



RMSE=0.325

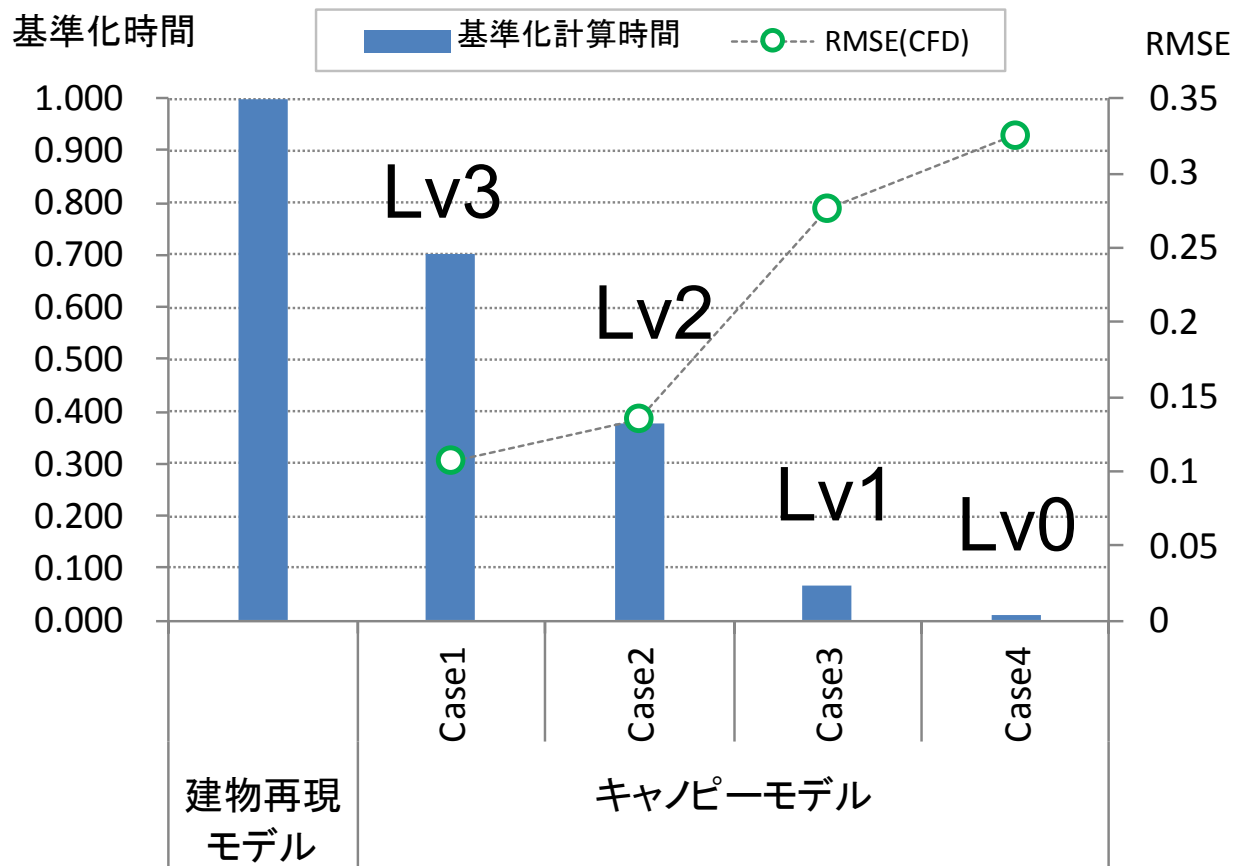


キャンピーモデルの精度検証

計算時間と精度の検討

Lv1は計算時間が10%になるが建物再現モデルとの誤差が28%程度となった。
建物再現モデルと格子サイズが同じLv3でも計算時間が70%になった。

基準化計算時間とRMSE(CFD)



計算環境 CPU: Intel(R) Core2 Quad Q8200 2.33GHz、メモリ容量: 6GB

バッファ領域サイズの検討

「新潟市内低層建物密集地流れ」による検証

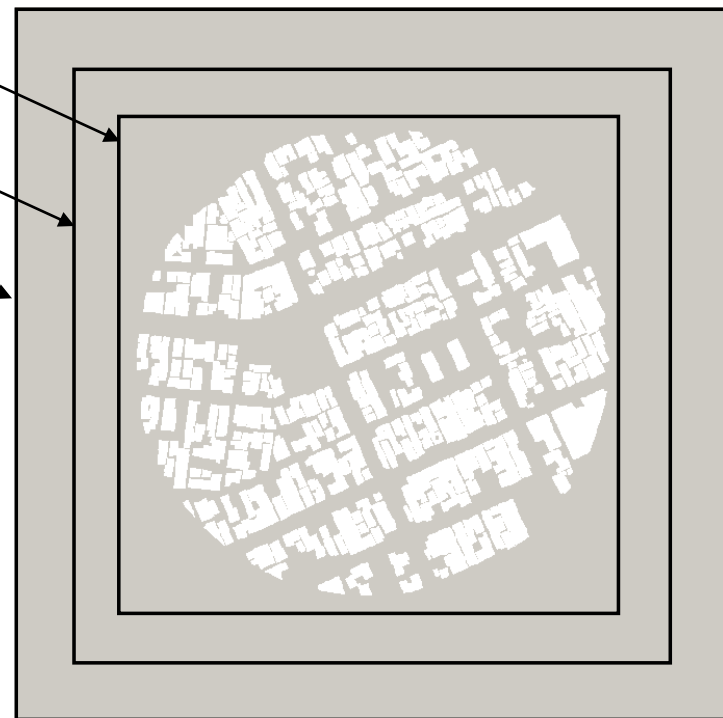
バッファ領域は計算の安定性のために必要であるが、バッファ領域が大きい時に流れが建物のない方向へ逃げて流れ場の性状が変わっていないか確認をした。

	バッファ領域サイズ
Case1	10m
Case2	50m
Case3	100m

計算条件

計算領域	2m(xdir) × 2m(ydir) × 1m(zdir) (風洞実験ターンテーブル直径1.6m 模型縮尺1/250)
移流項差分スキーム	U、k、ε すべて一次風上
上空境界条件	slip壁
建物,地表面境界条件	一般化対数則
流入境界条件	風向:NNE U、kは実験結果を補間 εは局所平衡仮定による
周出境界条件	勾配ゼロ
乱流モデル	LKモデル
占有率 γ_0	図4参照
代表長さ l_0	図5参照
収束判定条件	相対残差 1×10^{-3} 以下

+バッファ10m
+バッファ50m
+バッファ100m



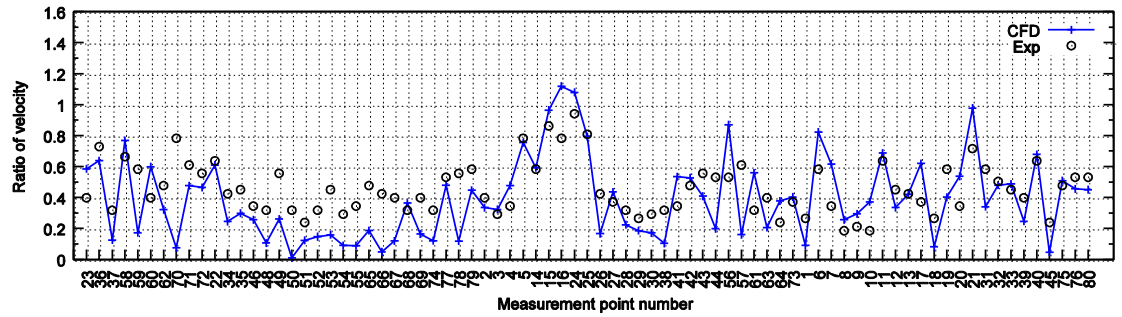
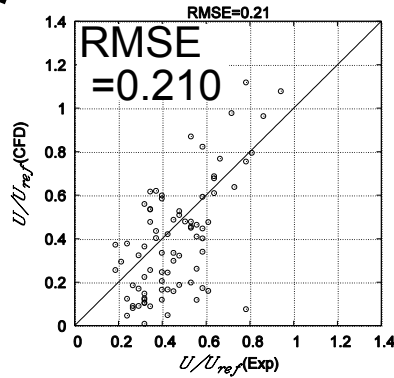
バッファ領域サイズ

バッファ領域サイズの検討

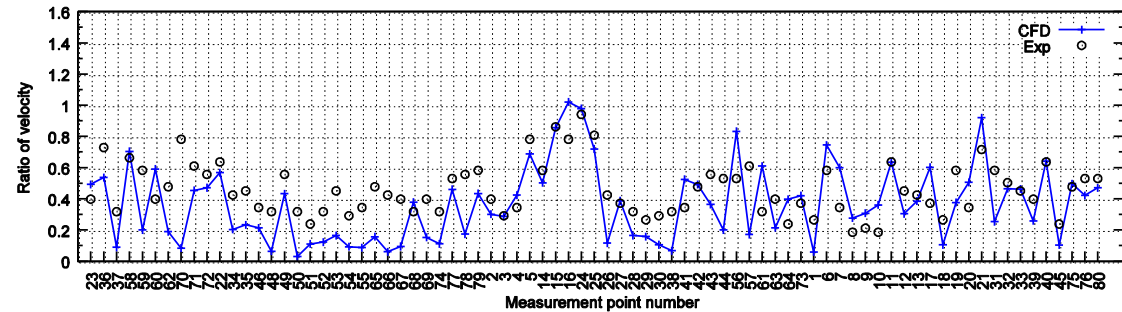
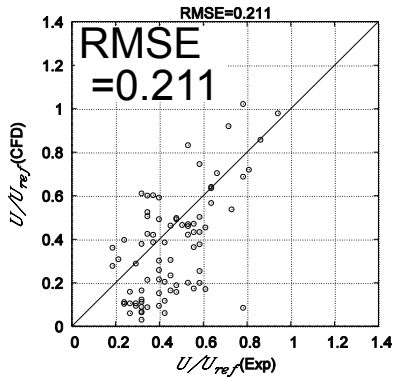
計算結果

バッファ領域サイズに関わらずRMSEは0.21程度となった。

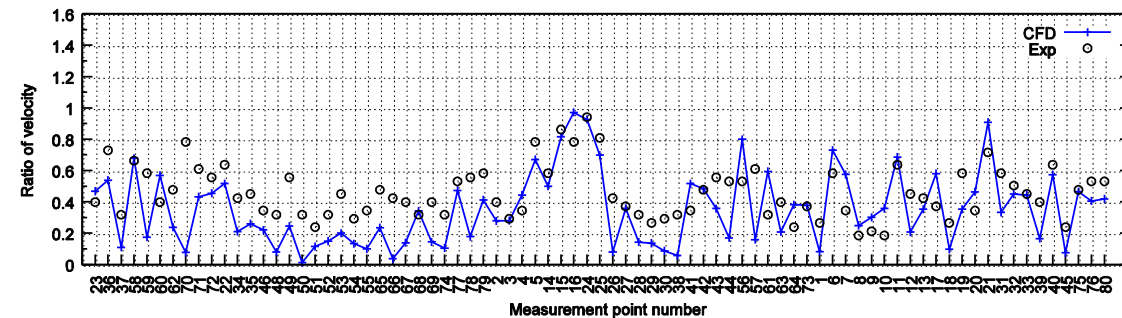
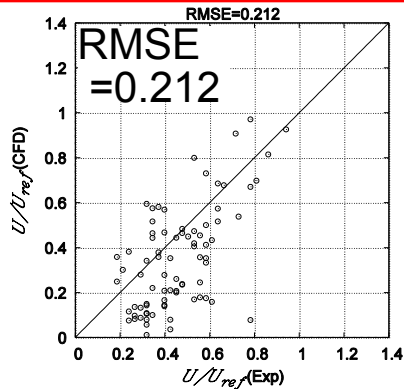
バッファ
10m



バッファ
50m



バッファ
100m



中領域サイズの検討

「新潟市内低層建物密集地流れ」による検証

大領域 格子サイズ 中領域 格子サイズ 中領域 サイズ

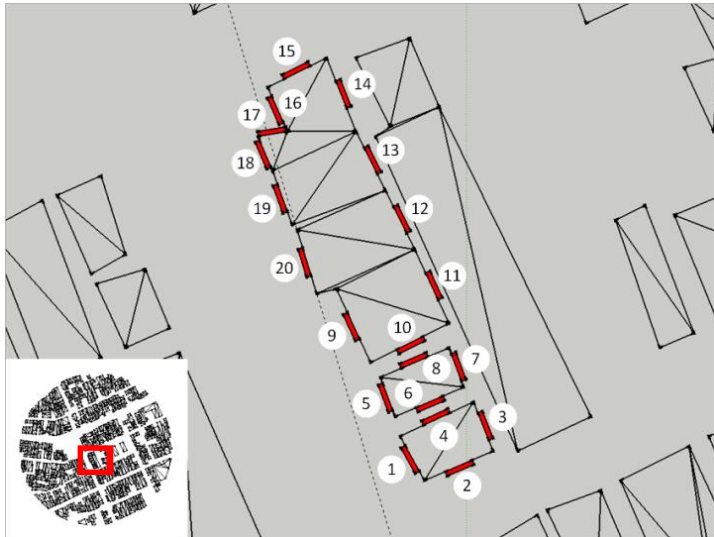
2 × 2 × 4 = 16ケース 検討した。

(Lv1,Lv2) (Lv5,Lv6) (評価対象領域+0H, +5H, +10H, +16H, H=6m)

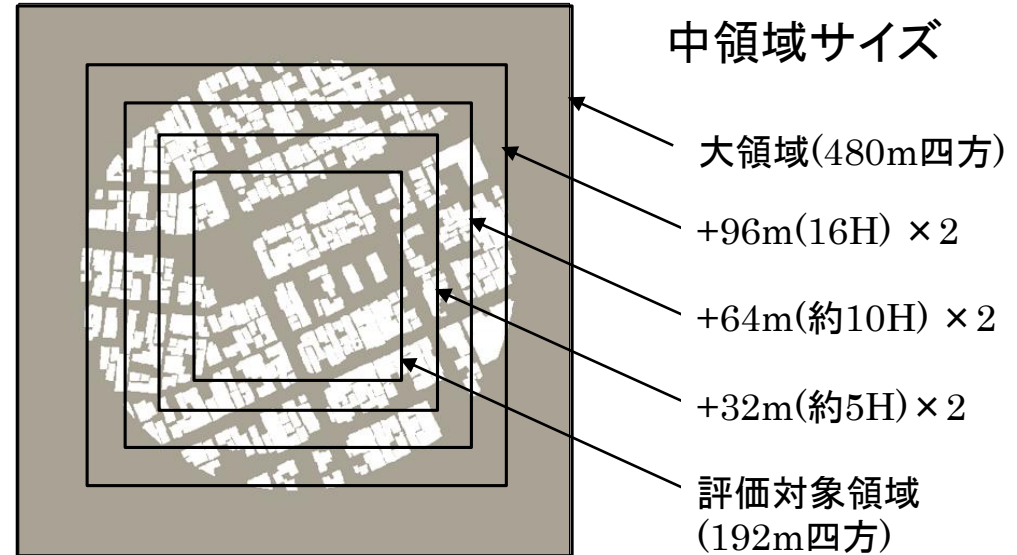
	大領域基準最小 メッシュサイズ	大領域 計算格子数	中領域基準最小 メッシュサイズ	中領域の計算領域大きさ	中領域 計算格子数
中領域のメッシュ細分化5段階(Lv.5)のケース					
case1-1	8m 細分化1段階 (Lv.1)	20万	0.50m 細分化5段階 (Lv.5)	評価対象領域のみ	74万
case1-2				評価対象領域+約5H(32m)	132万
case1-3				評価対象領域+約10H(64m)	206万
case1-4				評価対象領域+16H(96m)	293万
case2-1	4m 細分化2段階 (Lv.2)	82万		評価対象領域のみ	74万
case2-2				評価対象領域+約5H(32m)	132万
case2-3				評価対象領域+約10H(64m)	206万
case2-4				評価対象領域+16H(96m)	293万
中領域のメッシュ細分化6段階(Lv.6)のケース					
case3-1	8m 細分化1段階 (Lv.1)	20万	0.25m 細分化6段階 (Lv.6)	評価対象領域のみ	102万
case3-2				評価対象領域+約5H(32m)	173万
case3-3				評価対象領域+約10H(64m)	282万
case3-4				評価対象領域+16H(96m)	387万
case4-1	4m 細分化2段階 (Lv.2)	82万		評価対象領域のみ	102万
case4-2				評価対象領域+約5H(32m)	173万
case4-3				評価対象領域+約10H(64m)	282万
case4-4				評価対象領域+16H(96m)	387万

中領域サイズの検討

中領域の計算は速度場を計算した後速度を固定し、評価領域から拡散物質を定常発生させ濃度場のみの定常計算を行った。



評価領域
(拡散物質発生領域)

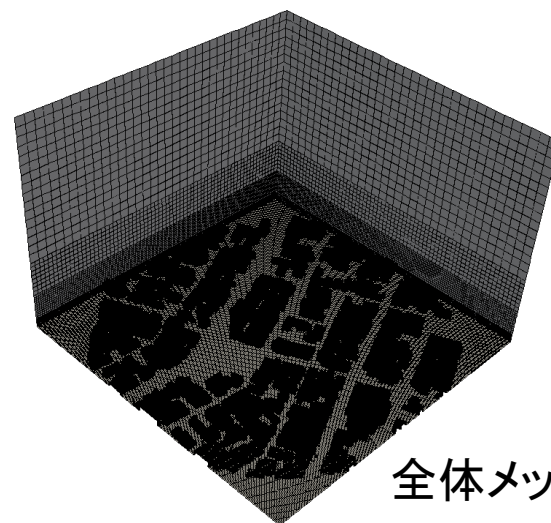


計算条件

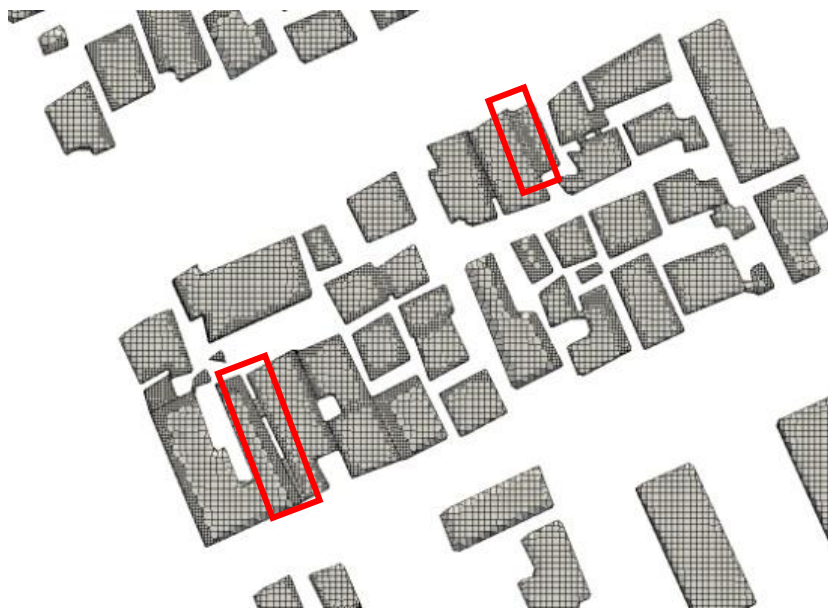
計算領域	上図参照
基準メッシュサイズ	16m
移流項差分スキーム	U、k、ε すべて一次風上
上空境界条件	slip壁
建物,地表面境界条件	一般化対数則
流入境界条件	キャノピーモデルの計算結果をマッピング
周出境界条件	勾配ゼロ
収束判定条件	相対残差ノルム 1×10^{-3} 以下

中領域サイズの検討

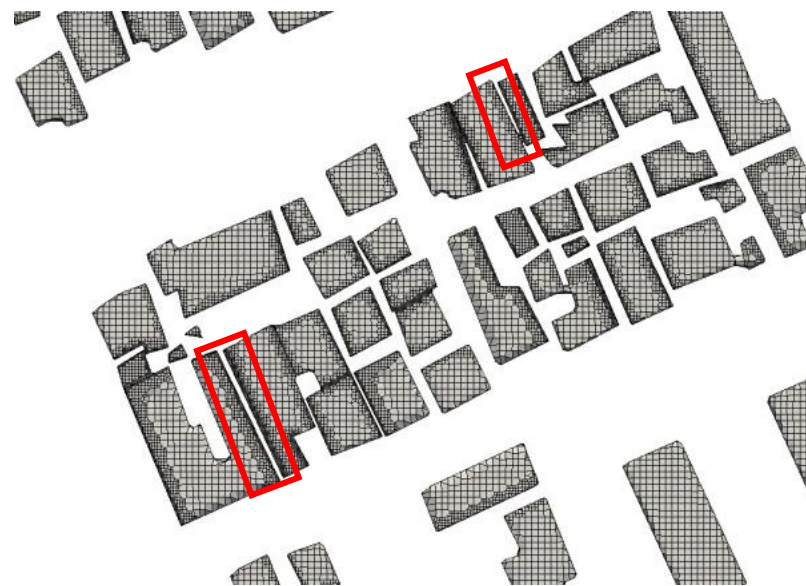
中領域の格子サイズの違いで評価できる建物間の距離が決まる。建物間に3セル必要だとするとLv5だと2m程度、Lv6だと1m程度の空間の評価ができる。



全体メッシュ



Lv5(最小0.5m)



Lv6(最小0.25m)

中領域サイズの検討

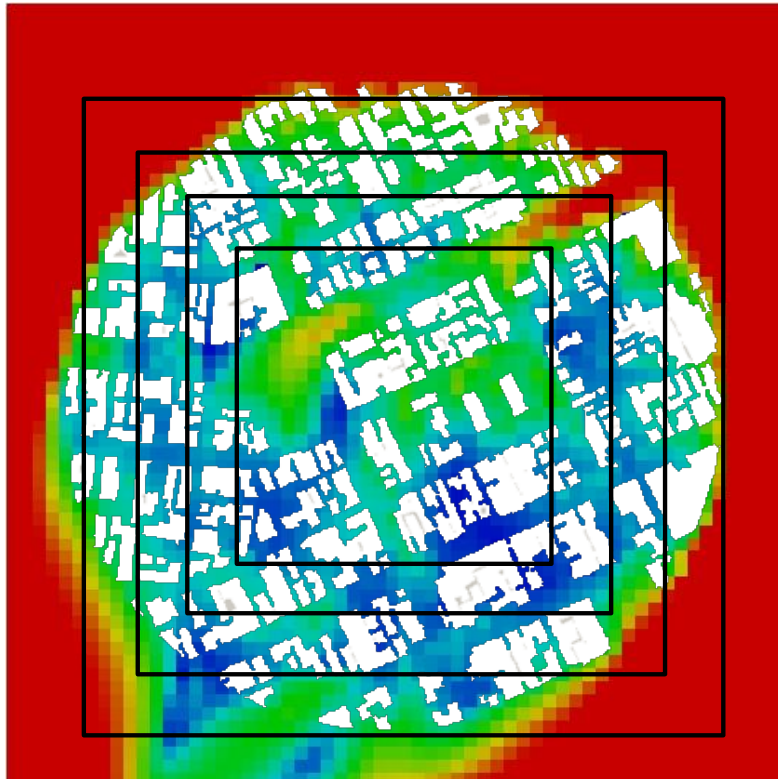
中領域にマッピングする大領域の風速の計算結果は以下の通りとなった。
大領域の結果は初期値だけでなく境界条件にも用いている。

風速
(m/s)

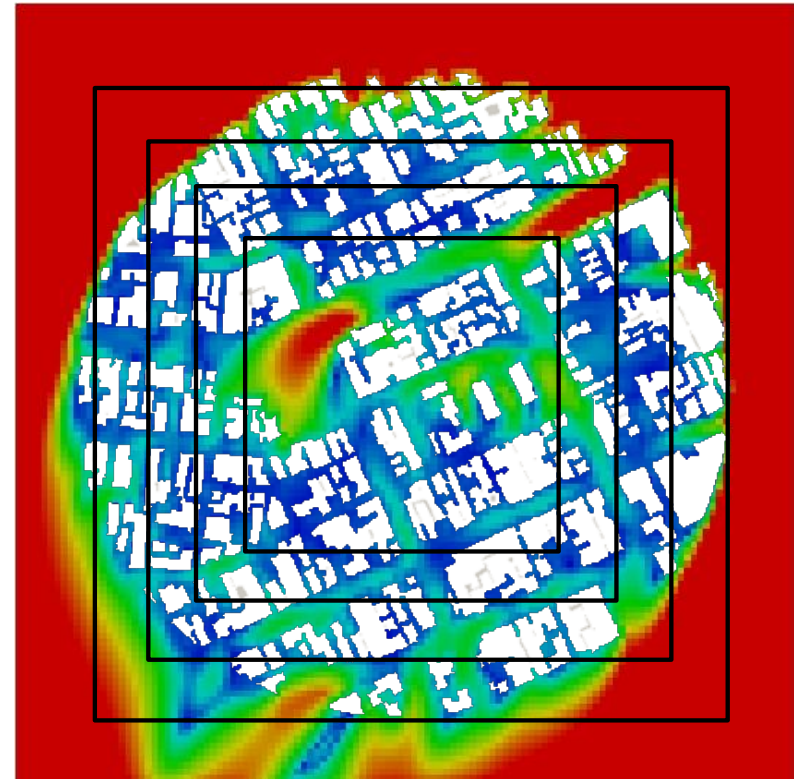
2.0

1.0

0.0



大領域格子Lv1



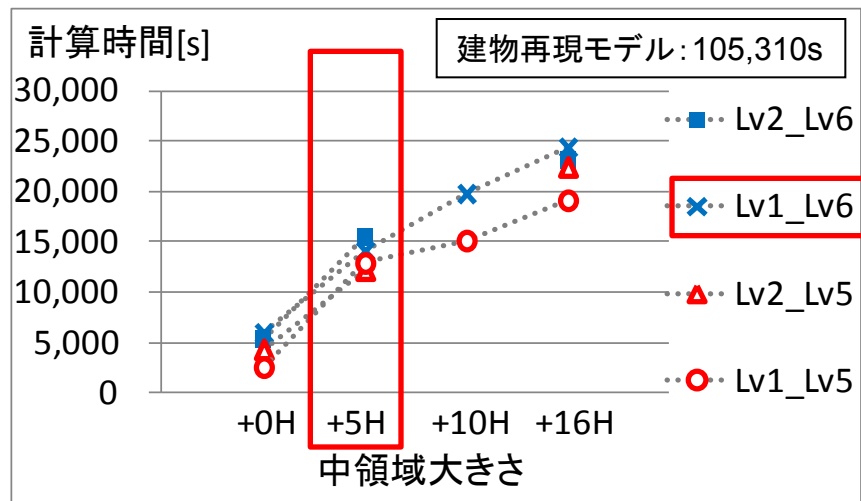
大領域格子Lv2

中領域サイズの検討

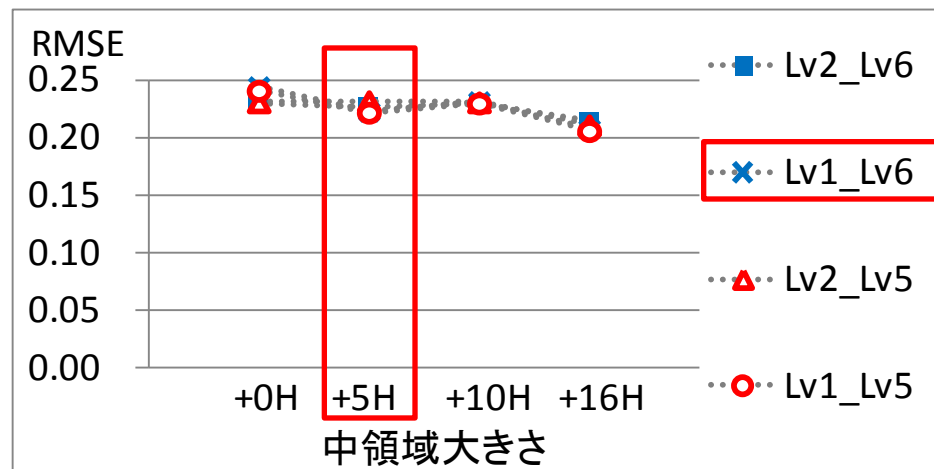
計算時間と精度の検討

中領域サイズが大きいほどRMSE (CFD) は小さくなるが、RMSE(風洞実験)の差は小さい。

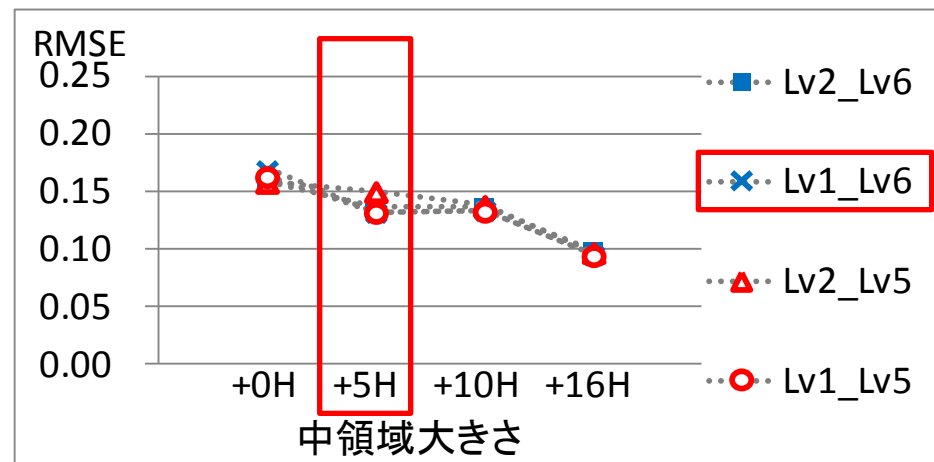
計算時間はメッシュサイズの違いよりも中領域大きさの違いの影響が大きい。精度を確保しながら計算時間を短縮できる中領域サイズとして評価対象領域+5Hをデフォルトとした。



計算時間(大領域速度、中領域速度、濃度合計)



風速比のRMSE (風洞実験)



風速比のRMSE (CFD)

計算環境 CPU: Intel(R) Xeon X5680 3.33GHz、メモリ容量: 48GB

まとめ

- ・ 精度を保ちながら計算時間の短縮を行う方法として一般化キャノピーモデルを導入し、精度検証を行った。
- ・ バッファサイズの影響を検討し、デフォルト値を50mとした
- ・ メッシュサイズと中領域サイズの検討を行い
 - 大領域のメッシュサイズはLv1
 - 中領域のメッシュサイズはLv6
 - 中領域サイズは評価対象領域+5H (H=6m)をデフォルト値とした。
- ・ 通常の建物再現モデルに比べ計算時間が5分の1～10分の1程度に短縮できた。

デフォルト値などの設定については暫定の値とし、
今後は他の地域などで計算を行い、計算の安定性も
含め検討を重ねて調整していく。