

茅ヶ崎市防災会議 第2回専門委員会議

日時：平成29年4月19日（水）14時30分から16時30分まで

場所：茅ヶ崎市役所本庁舎4階 会議室2

次 第

1 開会

2 議題

(1) 茅ヶ崎市防災会議 第1回専門委員会議の意見要旨について

(2) 輻射熱シミュレーションの方法について

- 1 風速について
- 2 樹林帯の遮蔽効果について
- 3 輻射熱シミュレーションモデルの比較について
- 4 避難場所利用可能率について

(3) 輻射熱シミュレーション結果（安全性の確認）について

- 1 公有地について
- 2 民有地について

(4) その他

3 閉会

(1) 茅ヶ崎市防災会議 第1回専門委員会議の意見要旨について

議題	委員会の主な意見	事務局の対応
(1) 専門委員会 議スケジュール について	○第4回会議で、意見公募資料とあるが、パブ コメを行うのか。	・説明会のような手順を想 定しています。
(2) 現行の広域 避難場所につ いて	○現行の広域避難場所不足はないのか。 ○地域防災計画は神奈川県大震火災避難対策計 画にもとづき、市街地火災から300m離れてい れば問題ないということを出発点にしている が、今回は、真面目に計算して安全面積を求め ていくことですね。	・現行の計画は昭和50年代 に策定したものであるた め、今回全面的に見直しを 行うことにしている。
(3) 避難ゾー ニングにつ いて	○市役所北側の事業所が集中している区域は、 夜間人口はゼロに近いが、昼間人口は多いため、 地区割指定されている現行の広域避難場所が、 定員を超える恐れがある。 ○大規模延焼火災の恐れが低い区域について は、避難場所を割り当てる必要性はないと思わ れる。	・市役所北側の事業所が、 集中している区域は、大規 模延焼火災の恐れが低い区 域としてゾーン区分の検討 を行う。
(4) 広域避難場 所候補地につ いて	○広域避難場所候補地についての資料説明を行 った。	
(5) 安全性の検 証方法につ いて	○避難有効面積の考え方について ・準安全面積は、風向きによっては、移動すれ ば利用できるもので、1方向（準安全面積の1/4） は、避難有効面積として使用できるものと考え て良いのでは。	・避難有効面積は、安全面 積に準安全面積の1/4を 加えたものとする。
	○風速について ・風速8m/sがどの位置にあるのか、頻度分布を 見てみたい。	・本資料の(2)で説明を加え た。
	○樹林の遮蔽モデルについて ・遮蔽モデルは、どのようなものか。 ・樹林は、奥行があると輻射熱の遮蔽効果は期 待できるが、火災区域に近いと、発火する可能 性がある。	・本資料の(3)で説明を加え た。

(2) 輻射熱シミュレーションの方法について

1 風速について

神奈川県大震災火災避難対策計画では、「火災の延焼速度及び延焼範囲に最も大きな影響を与えるものが風速であり、地域的には風向きも問題になる。」としている。このため、風速・風向について、以下のように考えた。

①海岸部の風速の検討

1) 風速特性

辻堂観測所は相模湾岸にあることから相模湾に面している広域避難場所の風速データは、辻堂観測所の値を使用することにした。

辻堂観測所の過去5年間の日最大風速の風向を調べた結果、図 1.1 に見られるように一年を通じて、日最大風速の風向は、北風か南風に限られた風向特性を持っている。

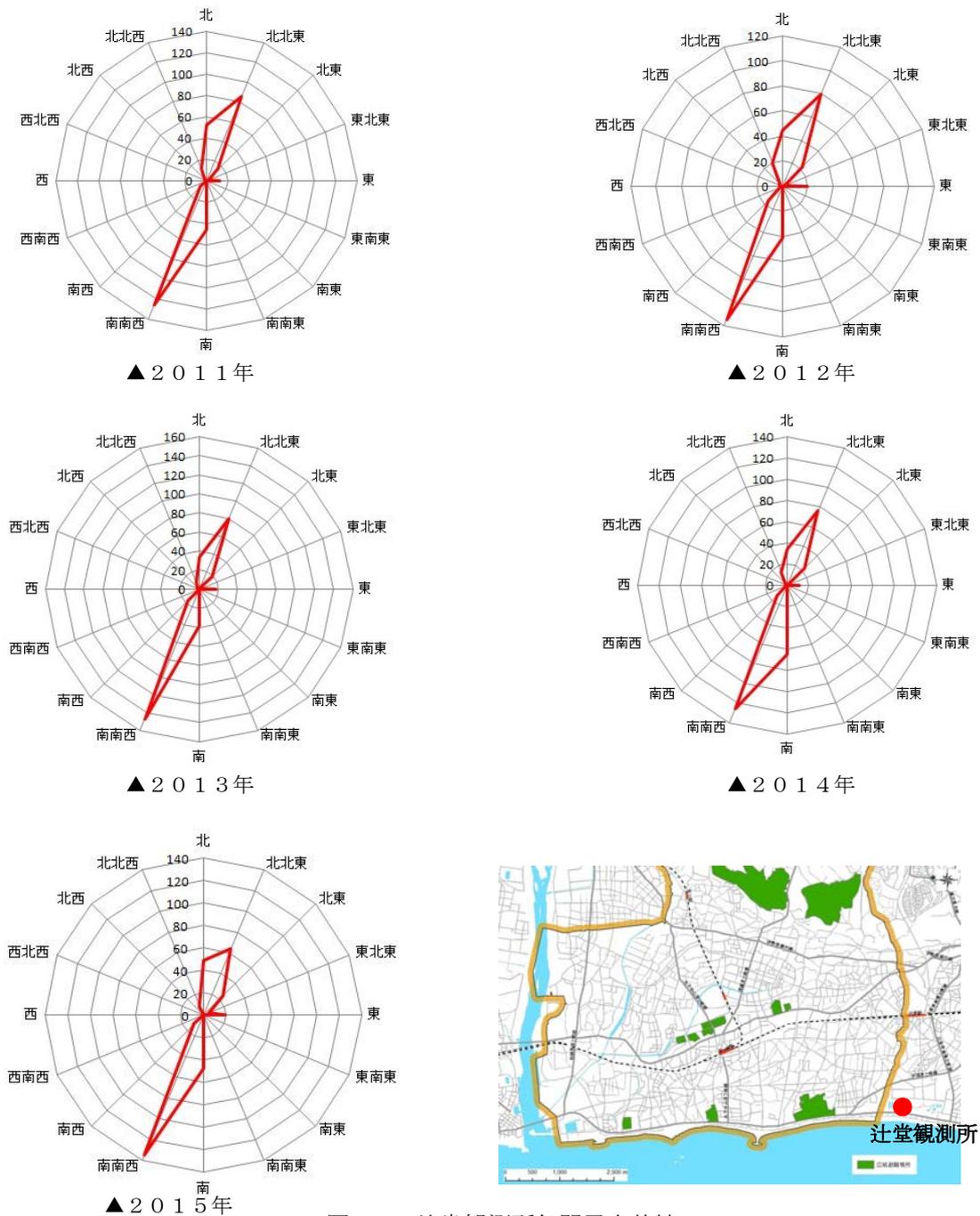


図 1.1 辻堂観測所年間風向特性

2) 輻射熱シミュレーションに用いる風速

図 1.2 に示すように、相模湾に面した広域避難場所は、南側に市街地がないため、南風による、輻射熱影響を受けない。このことから、相模湾に面する広域避難場所の輻射熱シミュレーションに用いる風速は、表 1.1 に示す 8 m/s を用いることにする。



図 1.2 相模湾に面する広域避難場所の風向と輻射熱の関係

表 1.1 辻堂観測所の日最大風速の超過確率 (単位:m/s)

年	全年			南風を除く		
	平均値	標準偏差 σ	平均値 $+2\sigma$ ※	平均値	標準偏差 σ	平均値 $+2\sigma$ ※
2011	6.2	2.6	11.4	5.0	1.2	7.4
2012	6.1	2.7	11.5	5.2	1.2	7.6
2013	6.5	2.6	11.7	2.4	1.5	5.4
2014	6.4	2.5	11.4	2.3	1.5	5.3
2015	6.2	2.5	11.2	5.0	1.1	7.2
2016	6.0	2.6	11.2	5.1	1.3	7.7
平均			11.4			6.8

≒12m/s

≒8m/s

※平均値 $+2\sigma$ は、資料が標準正規分布に従う確率変数であると仮定すると、この範囲に入る確率が95%となる(≒超過確率5%)

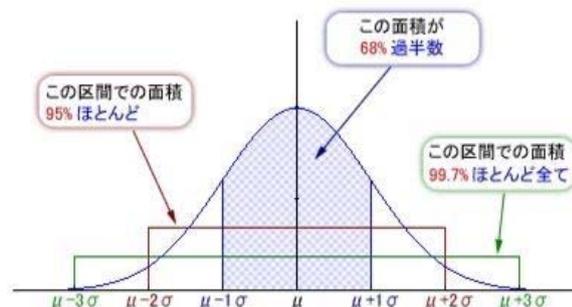


図 1.3 正規分布と標準偏差

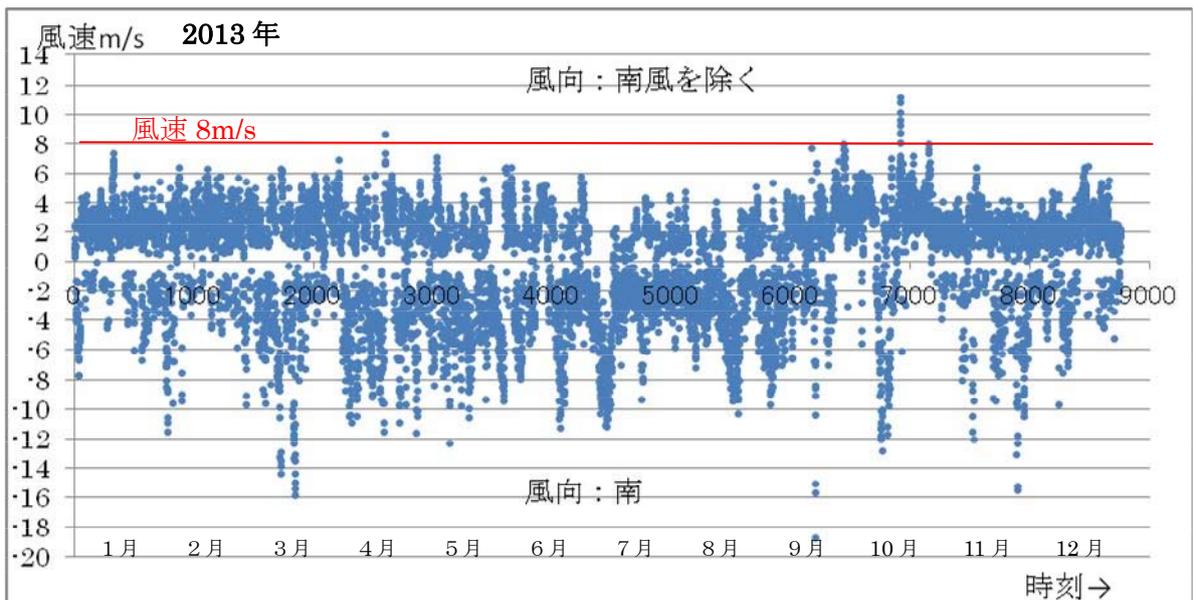
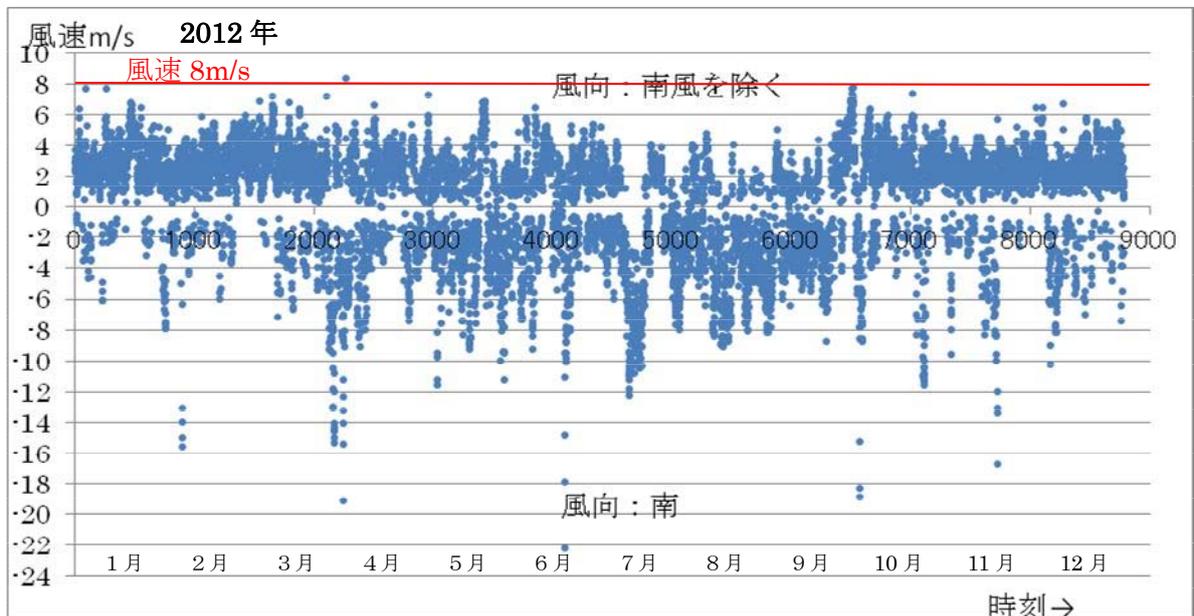
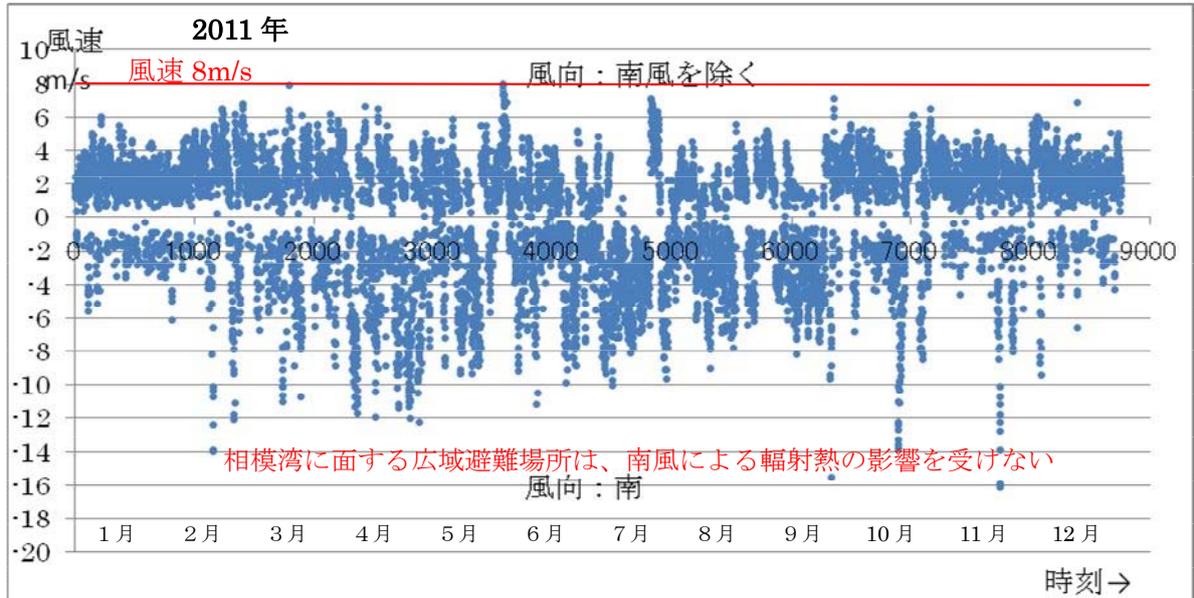


図 1.4 年間時刻平均風速 (辻堂観測所) -その1
※時刻平均風速: 観測時刻の前 10 分間観測値の平均値

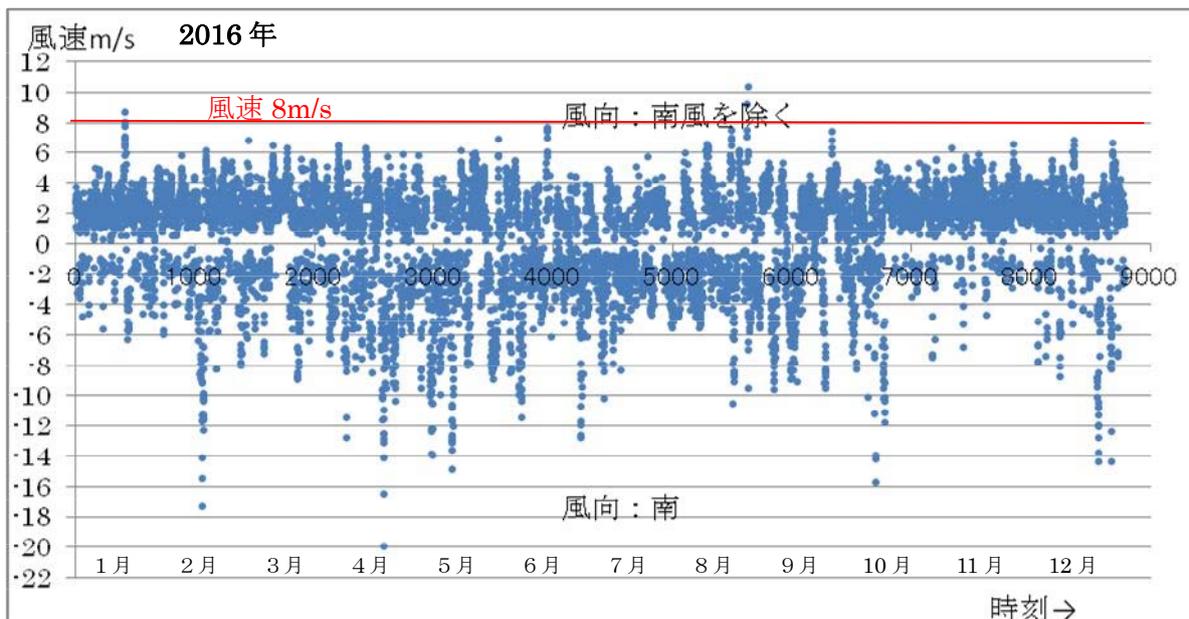
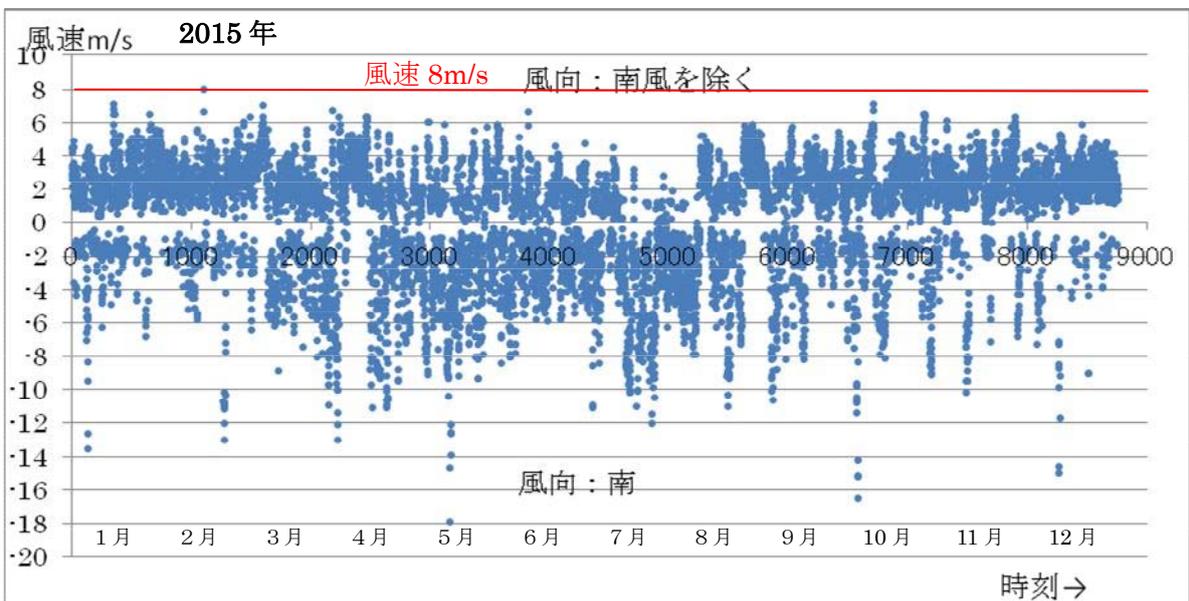
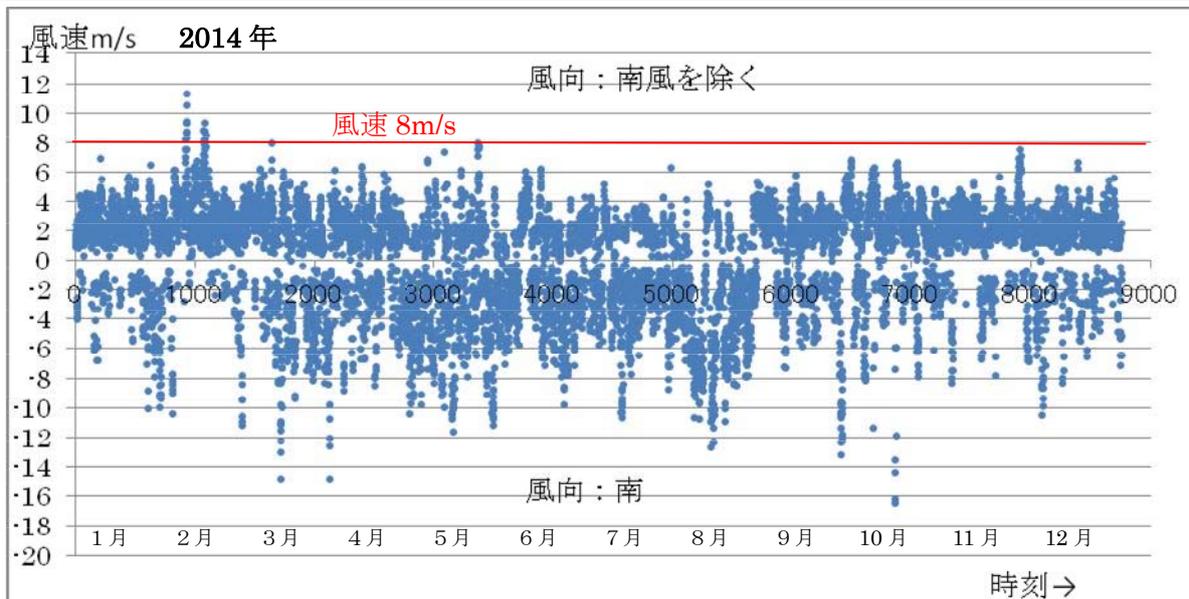


図 1.5 年間時刻平均風速（辻堂観測所）-その2
 ※時刻平均風速：観測時刻の前10分間観測値の平均値

②内陸部の風速の検討

1)風速の検討に使用する観測所について

内陸部の風速を検討するにあたり、茅ヶ崎市内の消防観測所と海に面している気象庁辻堂観測所を、観測データ（時刻風速データ）により相関関係を分析した。

図 1.6 より、辻堂観測所と茅ヶ崎市観測所との相関関係をみると、辻堂観測所の風速は、いずれの観測所とも大きなバラツキがあり、相関関係はあまりよくないことが分かる。つまり、海岸部と内陸部では、風速に違いがある。したがって、内陸部の輻射熱シミュレーションに用いる風速は、辻堂観測所を除いた茅ヶ崎市内の7観測所から設定することとする。

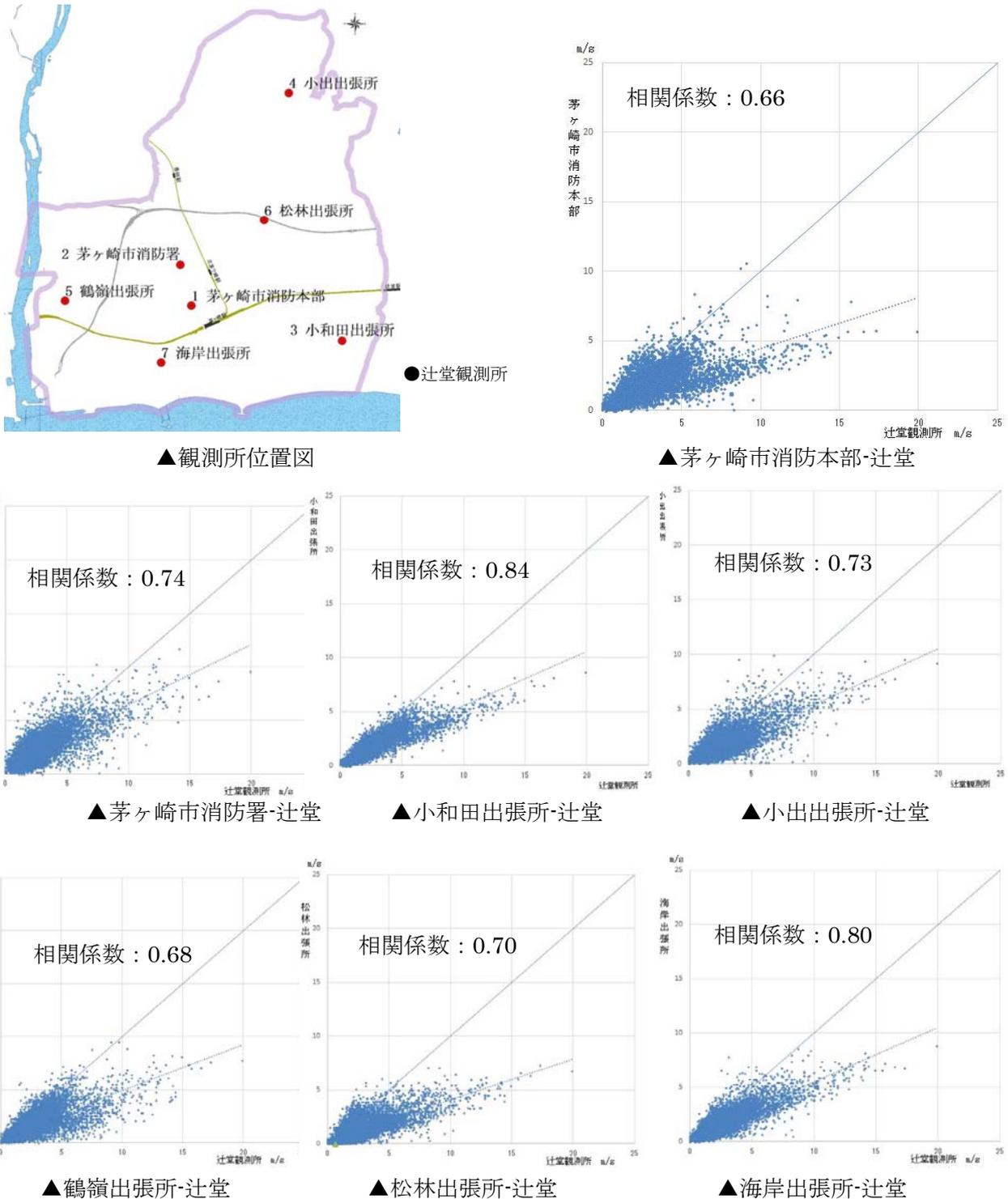


図 1.6 辻堂観測所と消防署観測所の相関

2)茅ヶ崎消防観測所位置と観測状況

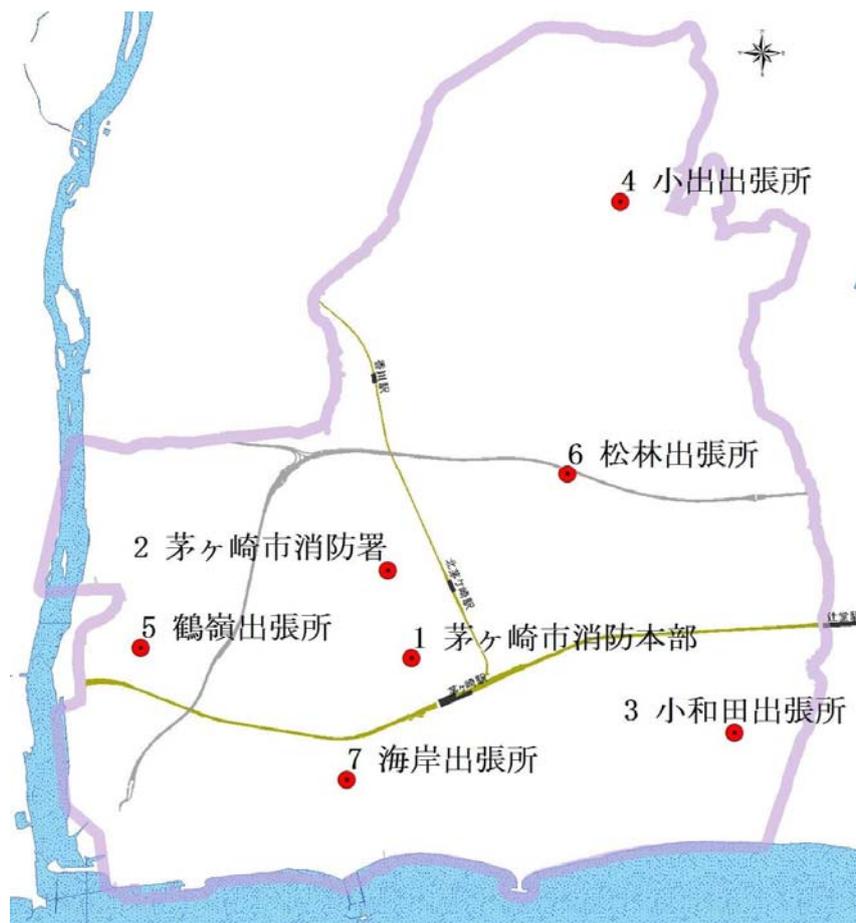


図 1.7 観測所位置

表 1.2 風速観測状況

		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	茅ヶ崎市消防本部						2/1-12/31	1/1-
2	茅ヶ崎市消防署	1/1-12/31	1/1-12/31	1/1-12/31	1/1-12/31	1/1-12/31	1/1-1/31 2/7-12/31	1/1-
3	小和田出張所						2/1-12/31	1/1-
4	小出出張所						2/1-12/31	1/1-
5	鶴嶺出張所						2/1-12/31	1/1-
6	松林出張所						2/1-12/31	1/1-
7	海岸出張所						2/1-12/31	1/1-

3) 風速解析

表 1.3 に示す結果から、長い観測記録がある茅ヶ崎市消防署の過去6年間の” 平均値 + 2 σ “の平均値を見るとは風速 8m/s となる。他の観測所は、2016 年だけの観測であるが、8m/s を下回っており、8m/s は代表性があると言える。

したがって、**内陸部にある広域避難場所の輻射熱シミュレーションに用いる風速は、8m/s を採用ことにする。**

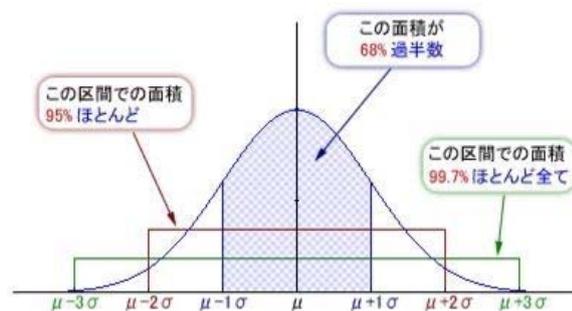
表 1.3 風速解析結果

観測所	年	全年			南風を除く		
		平均値	標準偏差 σ	平均値 + 2 σ ※	平均値	標準偏差 σ	平均値 + 2 σ ※
茅ヶ崎市消防署	2011	4.9	1.8	8.5	4.2	1.2	6.6
	2012	4.7	1.7	8.1	4.2	1.2	6.6
	2013	4.9	1.7	8.3	4.4	1.3	7.0
	2014	4.8	1.6	8.0	4.3	1.3	6.9
	2015	4.6	1.5	7.6	4.2	1.2	6.6
	2016	4.6	1.7	8.0	4.3	1.4	7.1
	平均			8.1 \Rightarrow 8 m/s			6.8
茅ヶ崎市消防本部	2016	3.6	1.2	6.0	3.5	1.1	5.7
小和田出張所	2016	3.6	1.2	6.0	3.6	1.0	5.6
小出出張所	2016	3.7	1.6	6.9	2.9	0.9	4.7
鶴嶺出張所	2016	3.9	1.3	6.5	4.0	1.2	6.4
松林出張所	2016	2.9	1.2	5.3	2.3	0.9	4.1
海岸出張所	2016	3.6	1.3	6.2	3.4	1.1	5.6
平均							

注) 茅ヶ崎市消防署の2016年は、2/1~2/6は、欠測扱い。

茅ヶ崎市消防署以外は、観測を2016年2/1から開始したため、2016年2/1~2017年1/31のデータを使用。

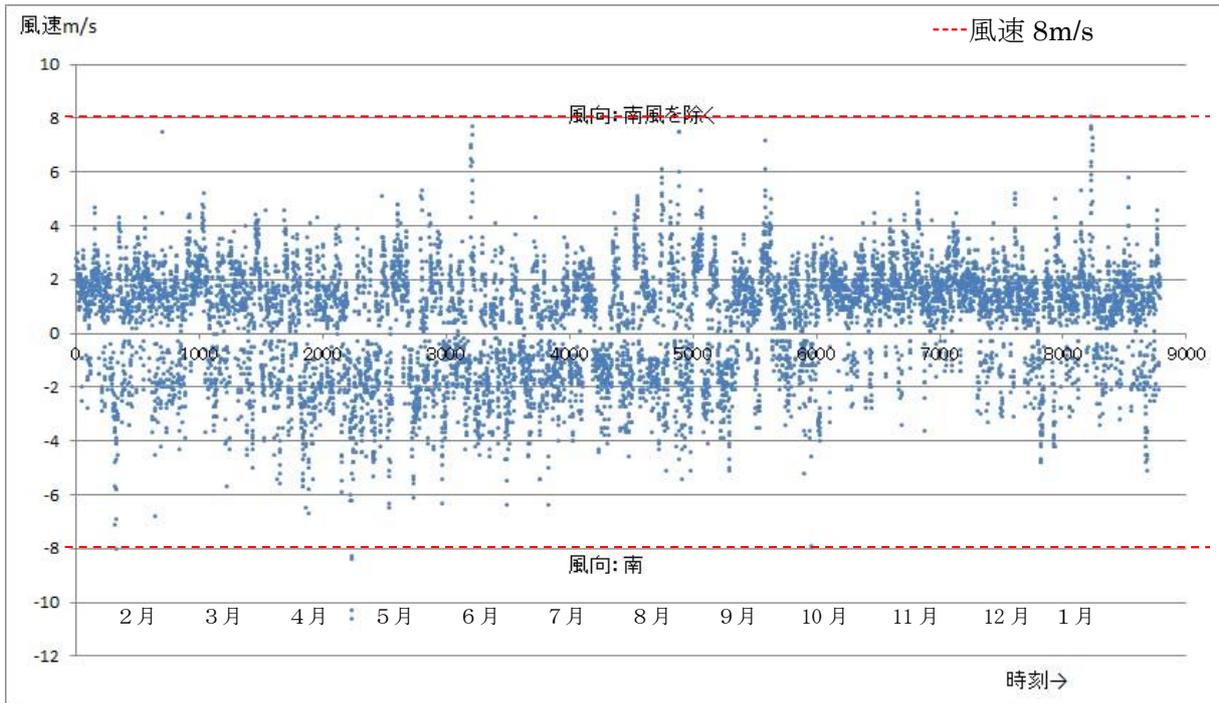
※平均値 + 2 σ は、資料が標準正規分布に従う確率変数であると仮定すると、この範囲に入る確率が95%となる（ \Rightarrow 超過確率5%）



▲ 正規分布と標準偏差

4)年間時刻平均風速の状況

1 茅ヶ崎市消防本部



2 茅ヶ崎市消防署

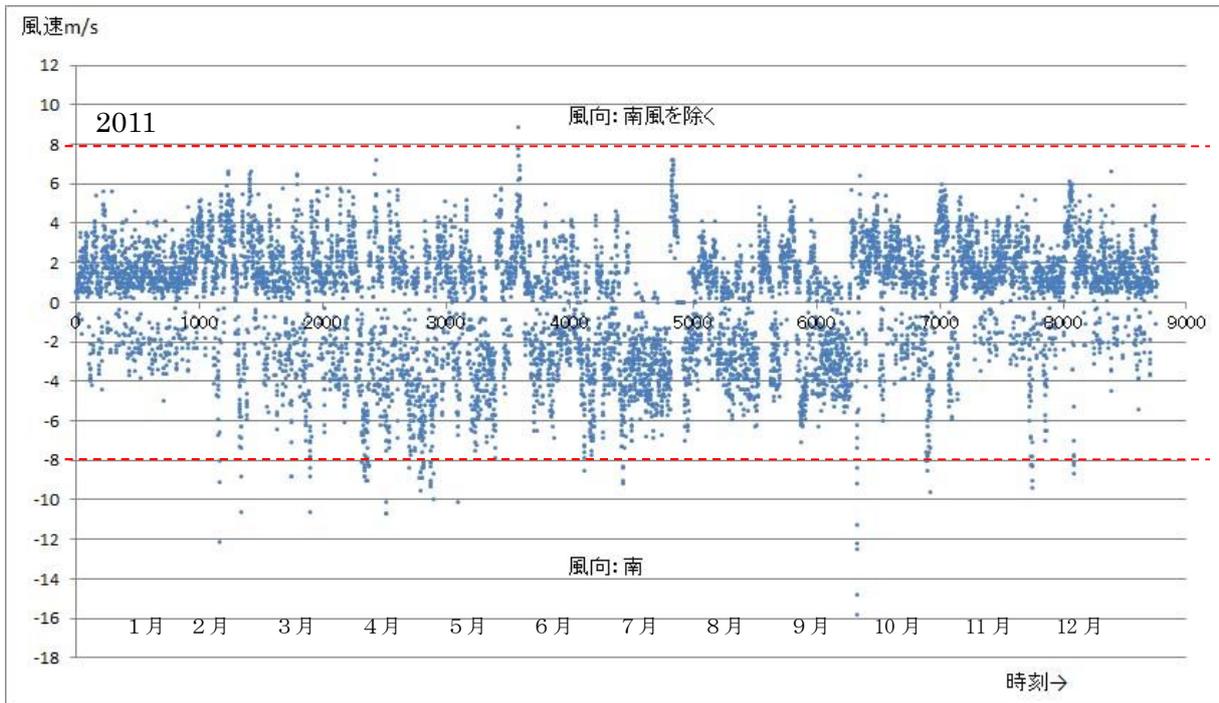


図 1.8 年間時刻平均風速 (その1)

※時刻平均風速：観測時刻の前10分間観測値の平均値

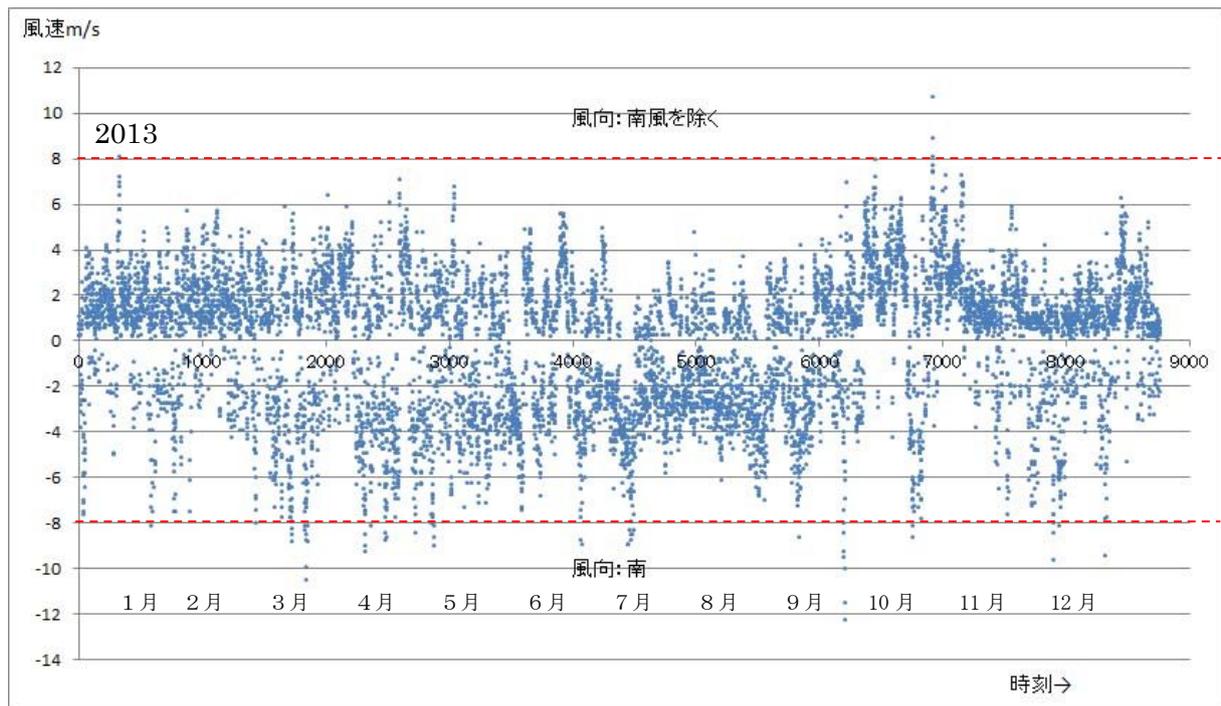
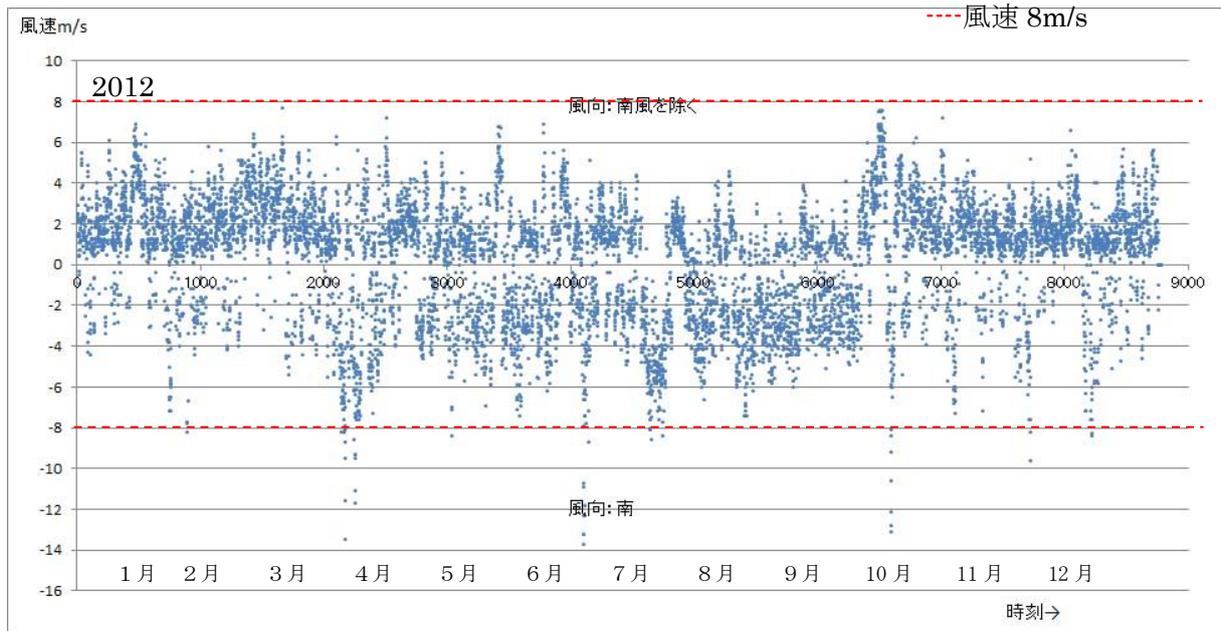


図 1.9 年間時刻平均風速 (その2)

※時刻平均風速：観測時刻の前10分間観測値の平均値

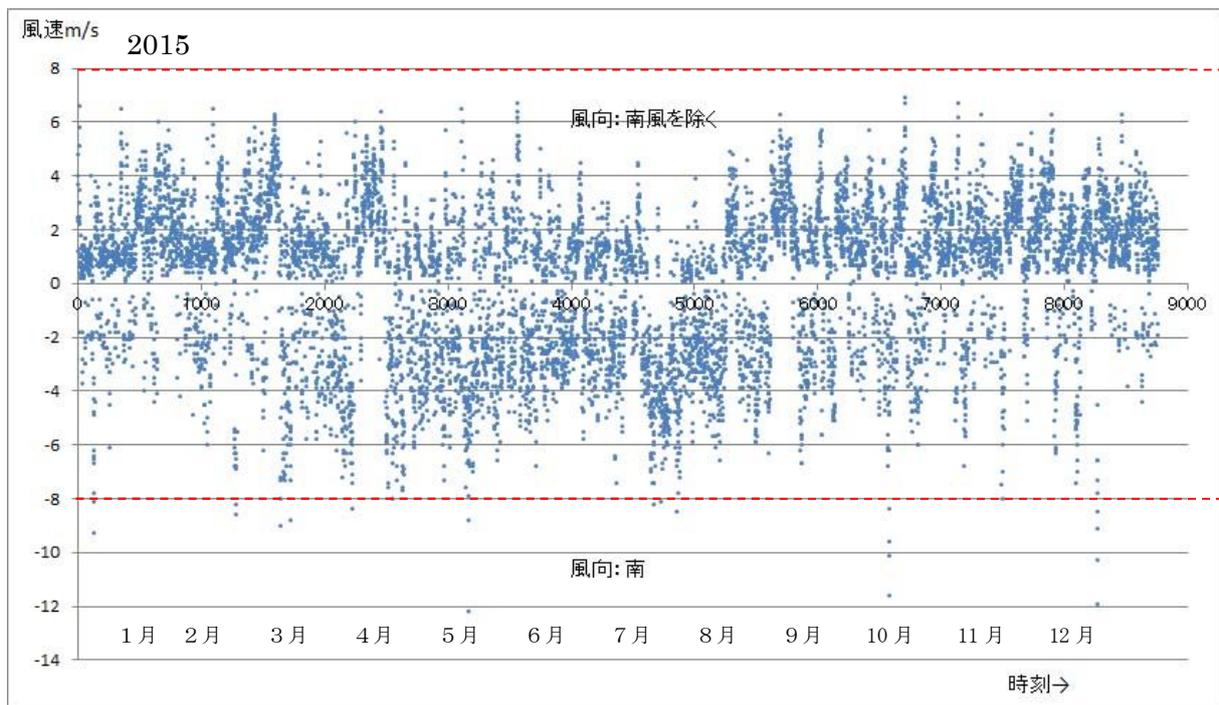
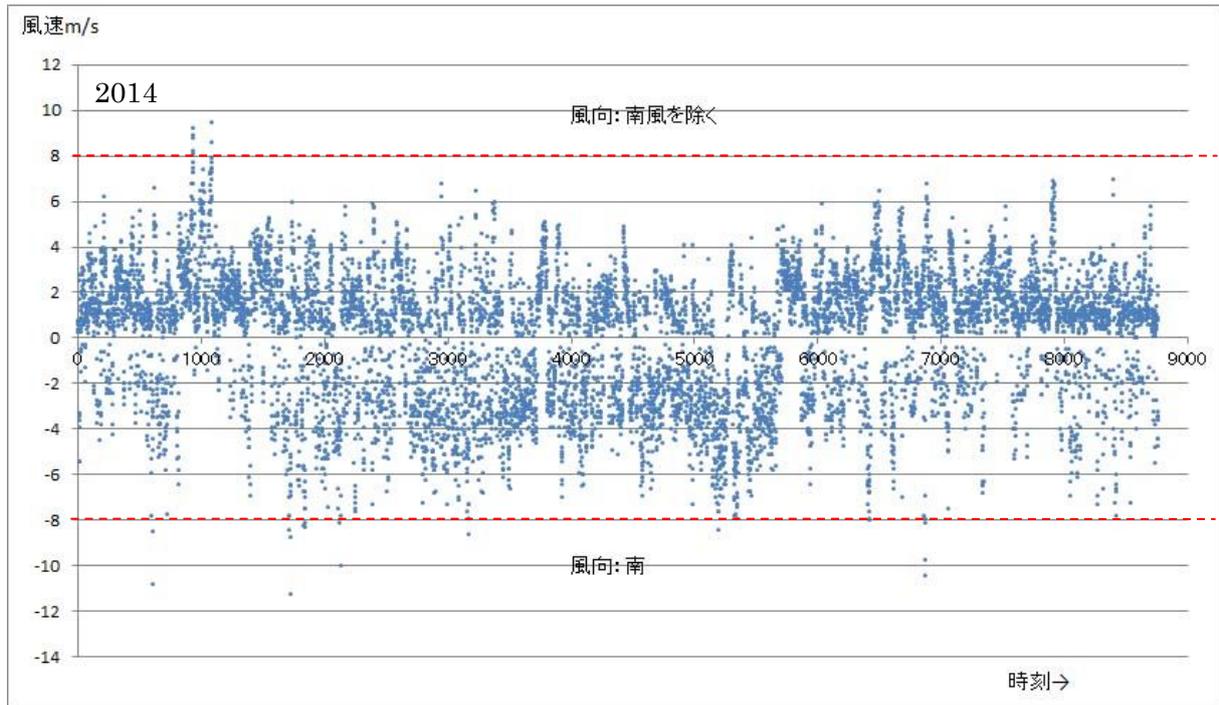
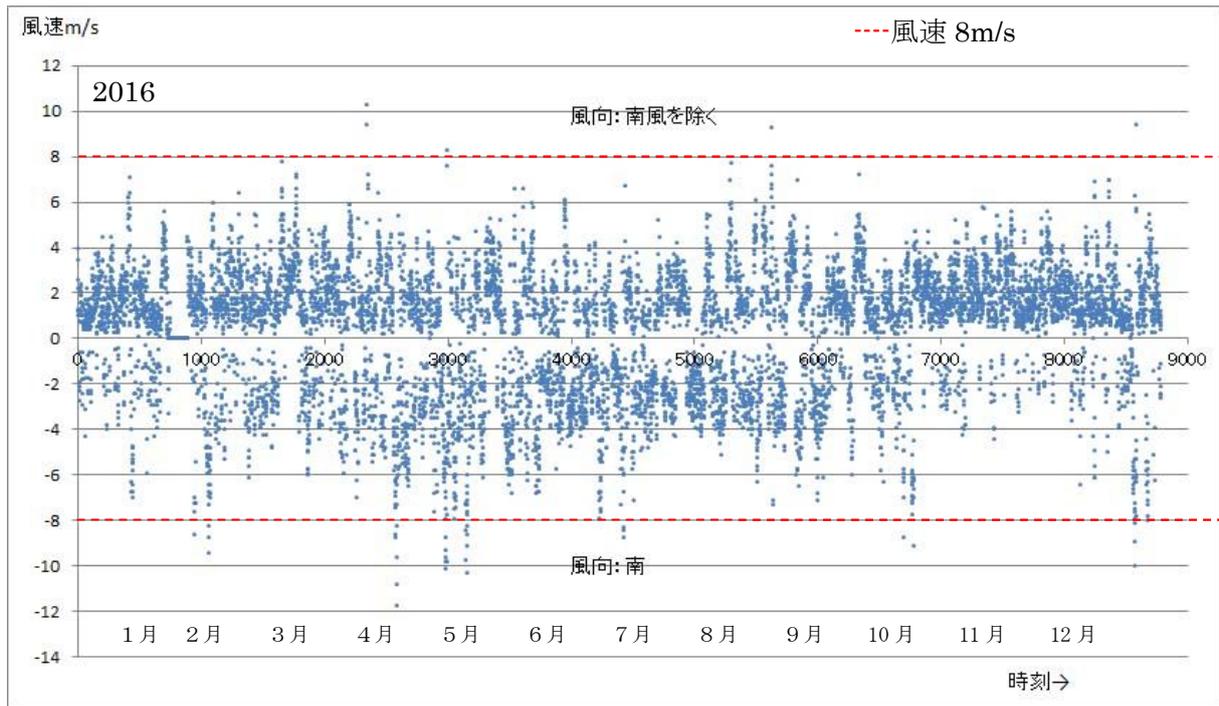


図 1.10 年間時刻平均風速 (その3)

※時刻平均風速：観測時刻の前10分間観測値の平均値



3 小和田出張所

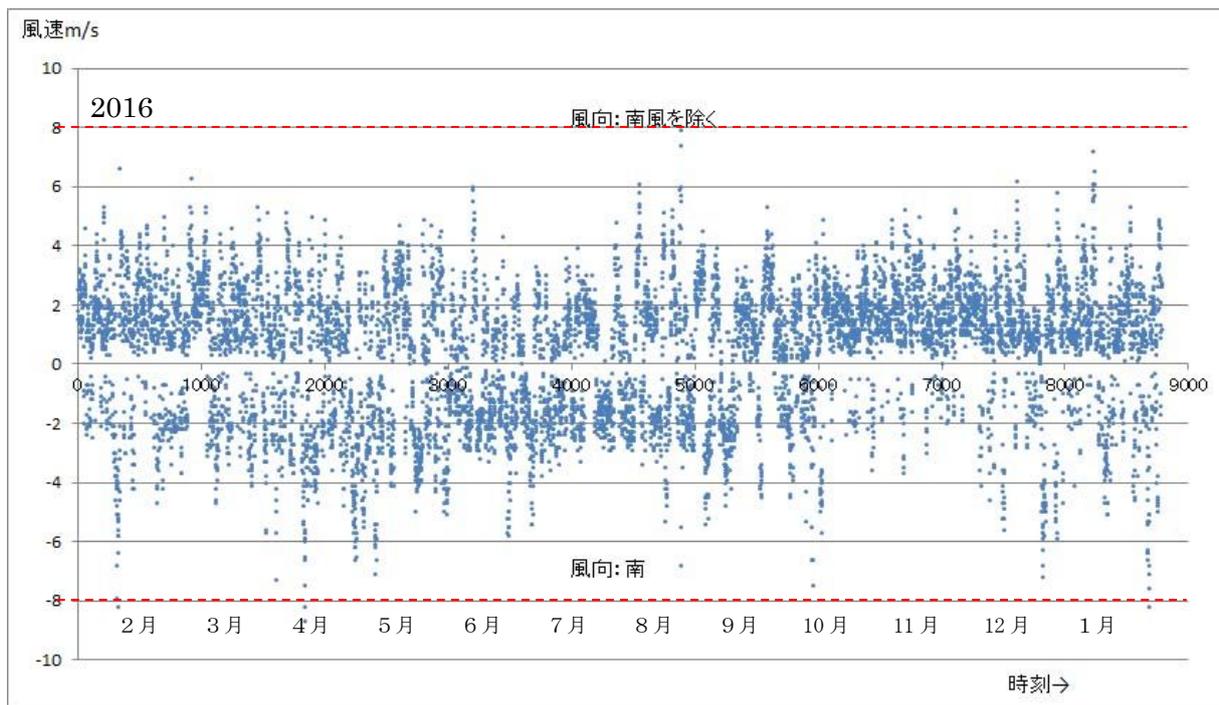
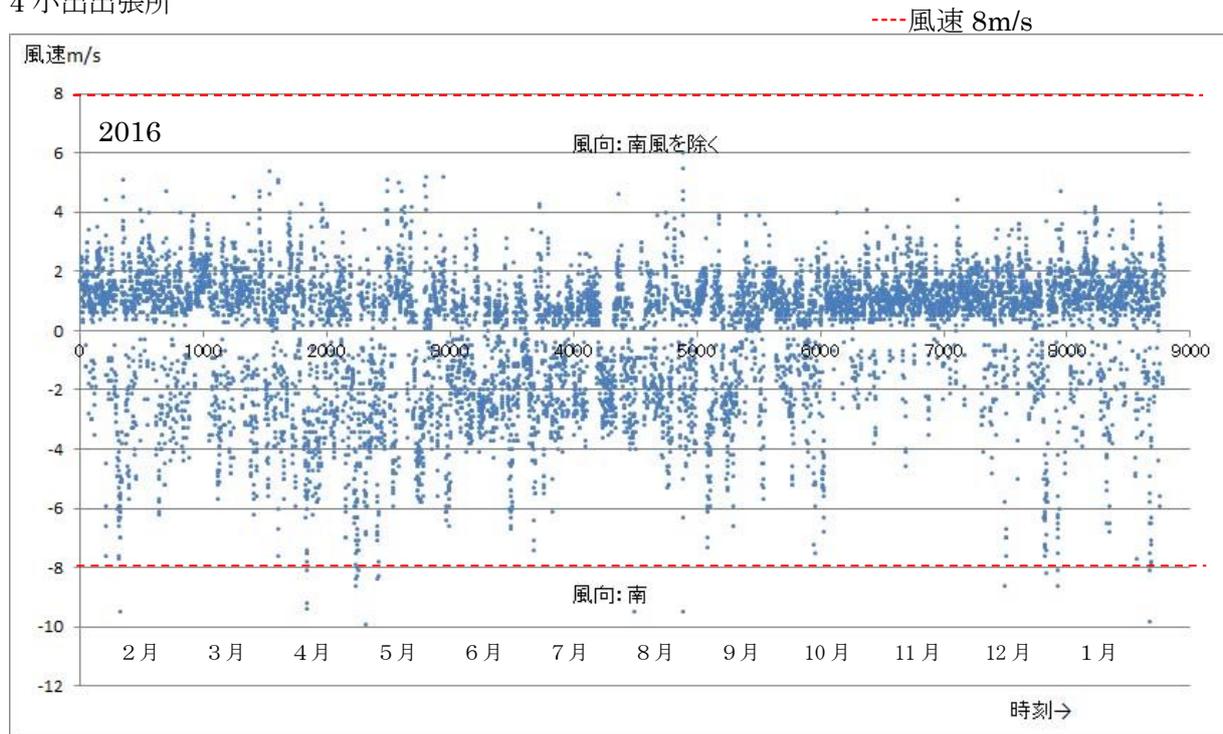


図 1.11 年間時刻平均風速（その4）

※時刻平均風速：観測時刻の前10分間観測値の平均値

4 小出出張所



5 鶴嶺出張所

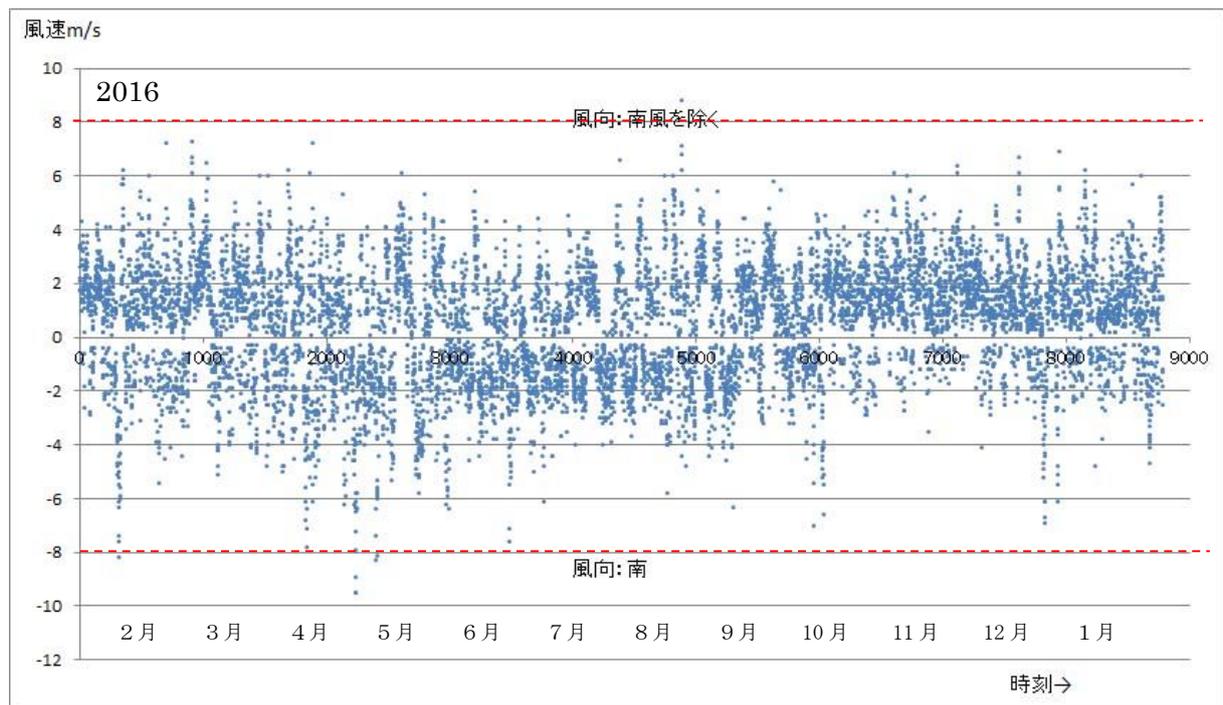
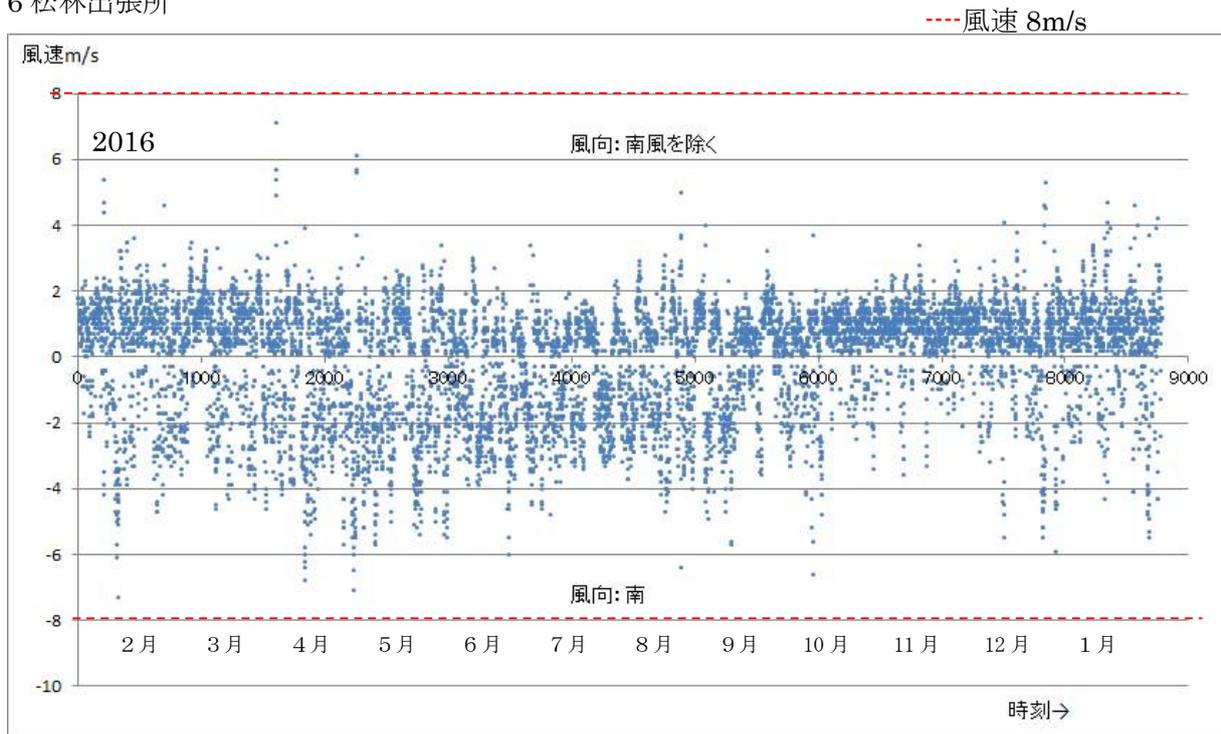


図 1.12 年間時刻平均風速 (その5)

※時刻平均風速：観測時刻の前10分間観測値の平均値

6 松林出張所



7 海岸出張所

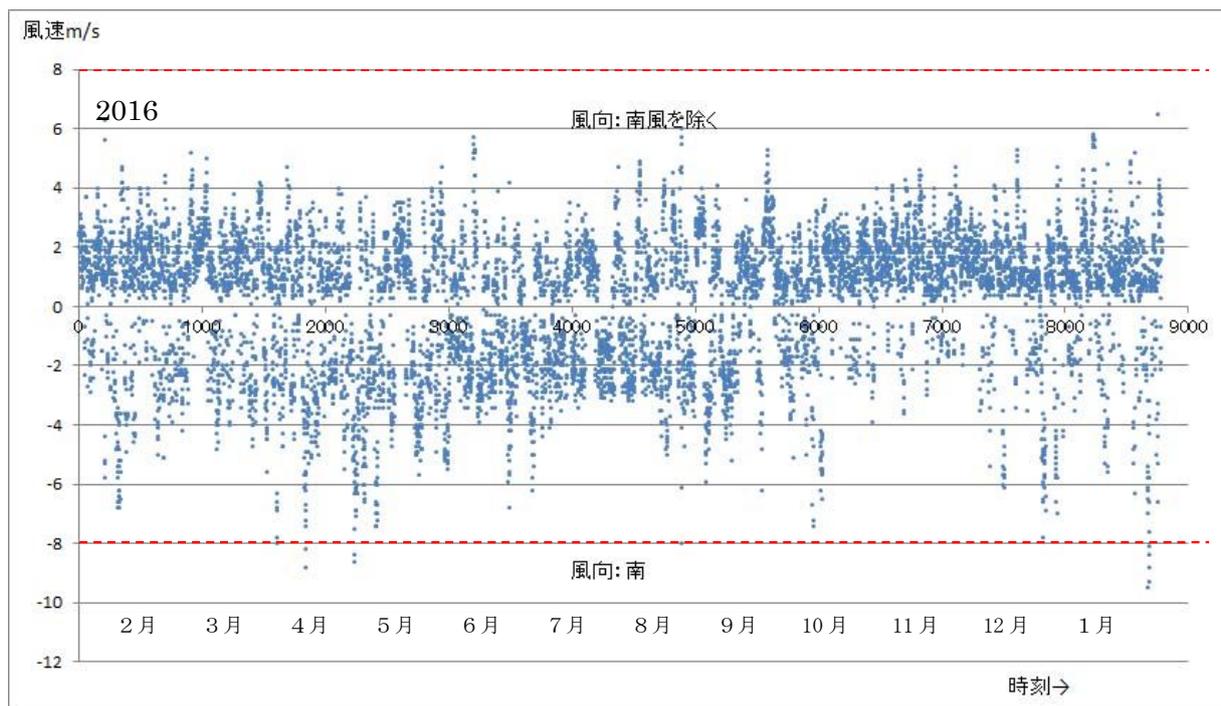


図 1.13 年間時刻平均風速 (その6)

※時刻平均風速：観測時刻の前10分間観測値の平均値

2 樹林帯の遮蔽効果について

①樹林の遮蔽モデル

樹林の遮蔽効果は樹高と透過率から算定する。

○樹林幅 1m 当たりの透過率は：常緑率 100%の 1m 当たりの透過率は 0.88（東京都で避難場所内の樹林の遮蔽効果検討のために行った現地サンプル調査結果）を使用する。

○樹林幅 d (m) 当たりの透過率：樹林幅 d (m) 当たりの透過率は、樹林幅 d の関数で表され、

$$\text{常緑率 100\%の樹林幅 } d \text{ (m) 当たりの透過率} = (\text{1m 当たりの透過率})^d = 0.88^d \quad \text{---(a)}$$
 となる（論文「樹木の防火機能に関する研究」齋藤、岩河より※1）。

樹林内の常緑樹の割合を常緑率 g (%) とすると、

$$\text{常緑率 } g \text{ (\%)} \text{ の樹林幅 } d \text{ 当たりの透過率 } P = 0.88^d \times g / 100 \quad \text{----(b)}$$

となる。

○樹林幅 d (m) 当たりの遮蔽率：樹林高を h_j 、炎高を H とすると、

$$\text{樹林による遮蔽率 } S = (1 - P) \times h_j / H \quad \text{----(c)}$$

として表される。

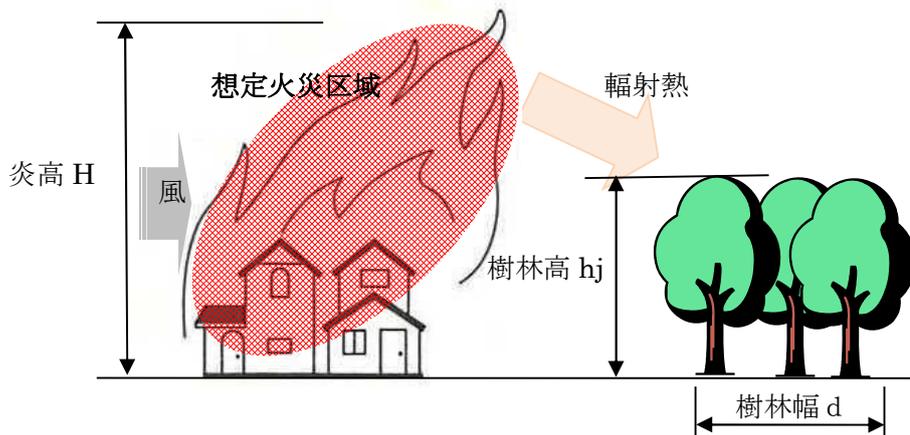


図 2.1 炎高と樹林

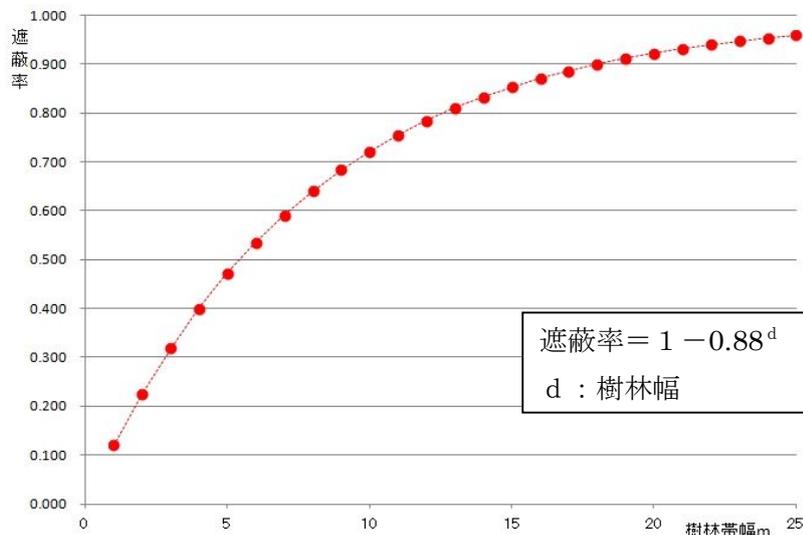


図2.2 樹林帯の幅と輻射熱遮蔽率の関係

②遮蔽物がある場合の必要前面距離算定方法

必要前面距離とは、人がいても火災からの輻射熱から安全である距離をさし、火災面の測点からの立体角放射率と炎面の輻射熱から求めた輻射熱が 2050kcal/m²h となる距離である。

遮蔽物がある場合の必要前面距離算定式は、(1)式のようになる（赤点枠が加わる）。

$$R = E \times \Phi \times (1 - S) \quad \text{---(1)}$$

許容輻射受熱 $R = 2050 \text{ Kcal / m}^2 \text{ h}$

輻射放射熱 $E = 39350 \text{ Kcal / m}^2 \text{ h}$

輝面率 = 0.5 としている

Φ : 形態係数 (立体角放射率) $2050/39350=0.0521$

基軸が火災面外の時

$$f(a,b,n) = \frac{1}{2\pi} \sin\theta \left(\frac{a}{\sqrt{n^2+a^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{n^2+a^2}} + \frac{b}{\sqrt{n^2+b^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{n^2+b^2}} \right) - \frac{1}{2\pi} \cos\theta \left(\frac{n}{\sqrt{n^2+a^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{n^2+a^2}} - \tan^{-1} \frac{b}{n} \right)$$

基軸が火災面内の時

$$f(a,b,n) = \frac{1}{2\pi} \sin\theta \left(\frac{a}{\sqrt{n^2+a^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{n^2+a^2}} + \frac{b}{\sqrt{n^2+b^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{n^2+b^2}} \right) + \frac{1}{2\pi} \cos\theta \left(\frac{n}{\sqrt{n^2+a^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{n^2+a^2}} - \tan^{-1} \frac{b}{n} \right)$$

$$\Phi = 2 \times (f(a1,b,n) - f(a2,b,n)) \quad \text{---(3)}$$

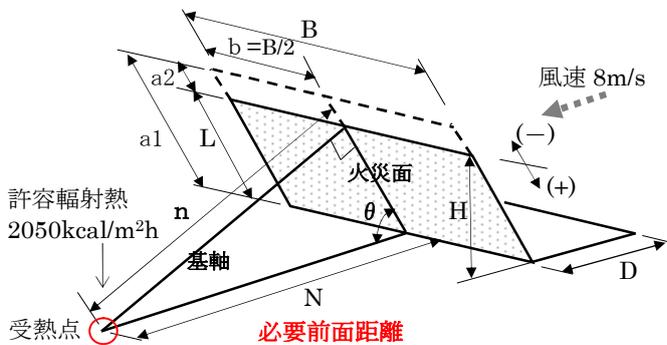


図 2.3 のような火災面に対する角関係 Φ を導く場合、立体角算出の基軸が火災面外の時と火災面内の時とで、 $a2$ の扱い方が変化する。基軸が火災面外の時、 $a2$ の高さをもつ面の角関係は、 $a1$ の高さをもつ角関係に対して負に傾き、基軸が火災面内にある時 $a2$ の高さをもつ面の角関係は、 $a1$ の高さをもつ角関係の内部に含まれ、計算上は $(L - a2)$ の高さをもつ角関係に $a2$ の高さをもつ角関係が正に働くこととなる。

図 2.3 形態係数 (立体角放射率) モデル

- B : 火災正面幅 (400m) N : **必要前面距離** (仮定) *
- b : B / 2 (既知) n : $N \cdot \sin \theta$ (仮定値 N と θ より)
- L : 炎長 a1 : $N \cdot \cos \theta$ (仮定値 N と θ より)
- θ : 風下炎傾斜角 a2 : $a1 - L$
- * : (1)式、(2)式を満足する $\Phi (=0.0521)$ の N を仮定により求める。

○同時延焼奥行D

$D = 104m$

○風下炎傾斜角 θ

$\theta = \tan^{-1} (4 \cdot m \cdot n n \cdot D / U^2)$ U = 風速

○延焼速度比 n n

= (木造面積 + 防火木造面積 * 0.8 + 準耐火造面積 * 0.5 + 耐火造面積 * 0.2) / 全建築面積

○炎長 L

$L = ((0.024 \cdot L\infty + 1.25) \cdot m \cdot n n - 0.5) \cdot D \cdot B / (B + D \cdot \sin \theta)$

m : 全建物建ぺい率、D : 同時延焼奥行、B : 風下火災正面幅=400m

表 2.1 U と L ∞ の関係

U (m/s)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
L ∞ (m)	14	17	24	33	43	55	70	88	109	130	154

③樹木の発火について

1)発火限界値

樹木の発火限界値について「都市における樹木の防火機能に関する研究1982 岩河」より、まとめた。

表2.2 樹木の耐火限界輻射受熱-自然発火（無炎）の場合

	常緑広葉樹	落葉広葉樹	針葉樹	木材
発火限界輻射受熱量 Kcal/m ² h	13,400	13,900	12,000	4,000

※常緑広葉樹は、一年を通して輻射熱の遮蔽を期待できる。

2)輻射熱受熱量と前面距離の関係（参考）

浜田理論により、輻射熱受熱量と前面距離の関係を図化した（図2.4）。

建物構成比=木造：防火木造：準耐火=2：6：2、建ぺい率=40%、風速=8m/sの場合、火災地からおおよそ20m程度離れていれば、樹木は発火しないことになる。

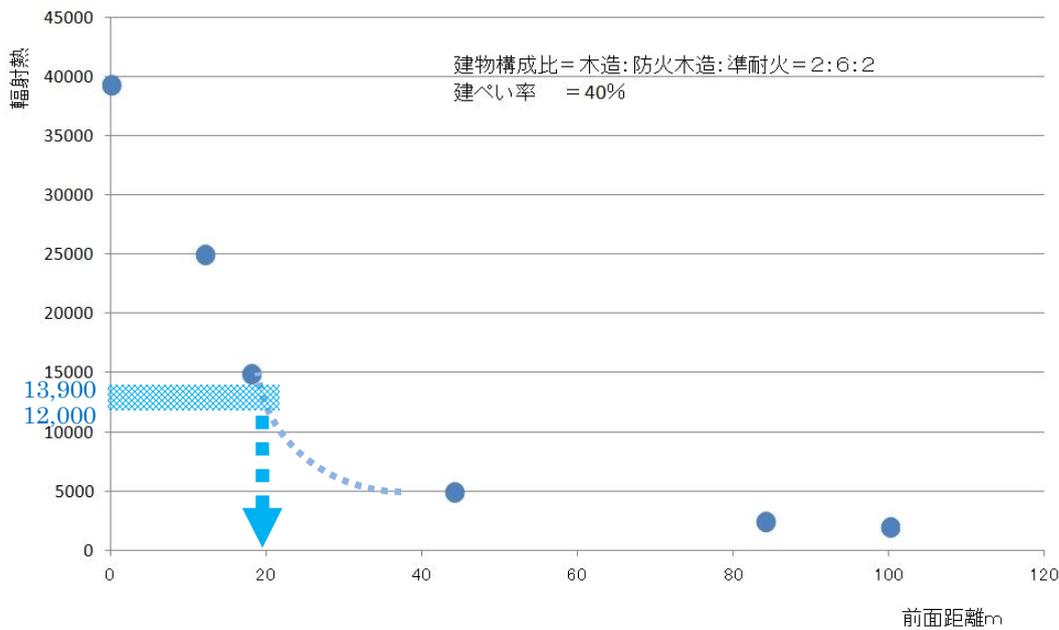


図2.4 輻射熱受熱量と前面距離の関係（浜田理論による結果）

④樹木の遮蔽モデルの導入について

樹木の遮蔽モデルについては、樹木の詳細調査（樹種など）を実施していないため、今回（第2回会議資料）の安全性検証のための計算では行っていない。

※1 参考資料「樹木の防火機能に関する研究」 斎藤、岩河

28. 樹木の防火機能に関する研究

—樹木による延焼遮断効果算定法—

斎藤 庸平*

岩河 信文**

(建設省建築研究所)

Fire Preventive Function of Trees

—Prediction of the Effect of Fire Prevention with Trees—

Youhei SAITO

Nobufumi IWAKAWA

摘要：樹木の延焼遮断効果算定法の核となる遮蔽率の算定法を検討した。その結果、算定式として、
遮蔽率=樹冠比×(1-枝下比)×(1-隙間率)を明らかにして、更に樹冠比は4類、枝下比は3類の類型化と基準値を求めた。また隙間率は色識別装置を応用し隙間率の定量化を試みた。

はじめに

樹木の延焼遮断効果の有効性が認められながらも防火樹林帯が計画的に設置された例はほとんど見られない。これは樹木の樹冠の縁、枝葉の隙間、枝下部分等から一部の放射熱が透過してしまうために、実際に樹木が遮断する放射熱量を知ることが極めて難しいからと考えられる。

しかし最近では精密測定機器の応用により空隙の測定が可能となり放射熱量も小型計算機が身近になり比較的簡易に計算できるようになった。そこで著者らは防火樹林の計画をたてる際に用いる樹木延焼遮断効果算定法の確立を目指して、枝葉の微小隙間や樹冠面積の測定法の開発及び空隙率の測定、そしてその結果をもとに樹種別又は類型別に最適な空隙率を求める一連の基準値の算定等の研究を行ってきた。本報告は、これらの一連の研究の基本的な考え方を示したものである。各項目の詳細な展開は別の機会にゆずるものとする。

1. 算定法と類型化

樹木全体を一ぺんに測定して空隙率を求める方法も可能であるが枝葉の状態、枝下長さの違い等々で個体差が大きく、信頼性の高い基準値を求めるためには相当数の樹木の測定が必要となることが予想される。そこで本研究では樹木を部分に分解し、各部分ごとに測定及び類型化と基準値を求める作業を行ない、そして最後にそれらを総合化して樹木全体の空隙率を求めていくという方法を採用した。この方法では例えば枝葉の部分の測定では枝下長さの違いは無視でき個体差の影響を小さくすること

ができ前者の方法に比べ測定個数が少なくても精度のよい規準値が得られる。

隙間のあり方をもとに次の様に分けた。

- ①樹冠周縁部
- ②樹冠内の枝葉の隙間
- ③枝下部

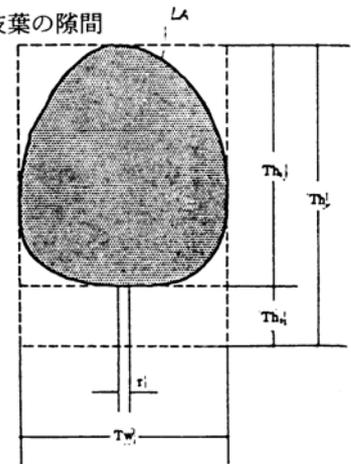


図-1 樹木の模式図

図-1で破線で示した範囲を樹木一本の占める面積と考え、この面積を樹木投影面積(S)とするとSに対する樹木が実際に占める面積比(Tφ)は

$$T\phi = \frac{LA \times (1 - \rho) + r \times Th_2}{S}$$

但し LA 樹冠の面積 Th 樹高
 ρ 樹冠の空隙率 Th₁ 樹冠高さ
 r 幹の径 Th₂ 枝下長さ
 Tw 樹冠幅

同式を変形し

* 都市建築設計事務所

$$T\phi = \frac{LA}{Th_1 \times Th} \times (1-\rho) \times (1 - \frac{Th_2}{Th}) + \frac{r}{Tw} \times \frac{Th_2}{Th}$$

ここで

$$\frac{r}{Tw} \ll 1 \text{ かつ } \frac{Th_2}{Th} < 1 \text{ よつて } \frac{r}{Tw} \times \frac{Th_2}{Th} \approx 0 \text{ 従つて}$$

$$T\phi = \frac{LA}{Th_1 \times Tw} \times (1-\rho) \times (1 - \frac{Th_2}{Th}) \dots\dots(1)$$

(1)式の $\frac{LA}{Th_1 \times Tw}$ は樹巾に樹冠高さを乗じた面積に対する実際の樹冠面積の比であるが、つまり、樹冠周縁部の空隙率を表わしている。これを樹冠比と呼ぶこととする。また $\frac{Th_2}{Th}$ は直接には枝下比であるが、枝下部の空隙率を表わし、 ρ は樹冠内の枝葉間の隙間率、これを樹冠の空隙率と呼ぶ。このように(1)式は樹木全体の空隙率と各部分の空隙率の関係式であり、従つてあとは各部分の空隙率が求まればよい。

著者らはここでまず各部分の類型化を行なつた。結論を示すと、樹冠比は樹冠の形状をもとに4パターン、枝下比は枝下の高低により3パターン、樹冠の空隙率は枝葉の疎密により3パターンで合計36通りの類型を想定し

た。つまり樹木の空隙率を完全透過0、から完全遮蔽1、までを36段階に分けたことを意味し、この間の実験の経験からはほとんどの樹種の空隙率が表現できるといえる。なおTφは樹木の遮蔽率を示し、空隙率は1-Tφで求める。

2. 樹冠比

以下に示す方針をもとに樹冠の類型を想定した。

- ①特殊な環境下(海岸沿)の樹冠や人為的な樹冠は除き標準的な樹冠を対象とする。
- ②計算簡便化のため直線型のパターンを想定する。
- ③面積比を唯一の尺度とする。(たとえば面積比が同一の三角型と逆三角型は同一類型とする)
- ④平面形で立体形は考えない。

この条件において想定した類型を図-2に示す。また各類型の樹冠面積は次のようにして求める。

図-2より

$$I \text{ 型の面積}(PA_1) \text{ は } PA_1 = \frac{1}{2} w h_1 = \frac{1}{4} w (2 h_1 + 0 \cdot h_3)$$

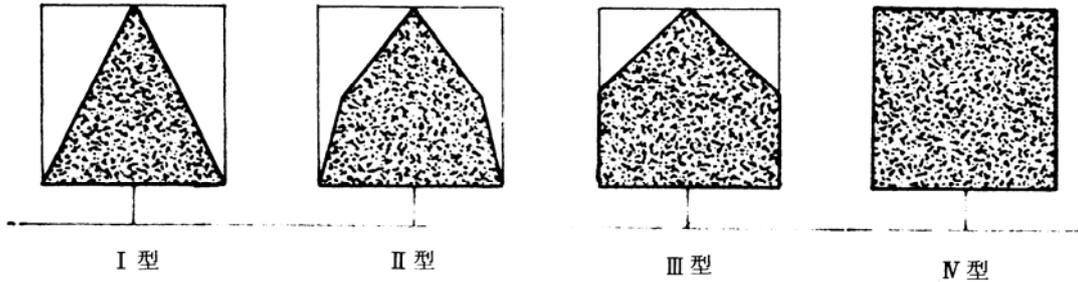


図-2 樹冠の類型

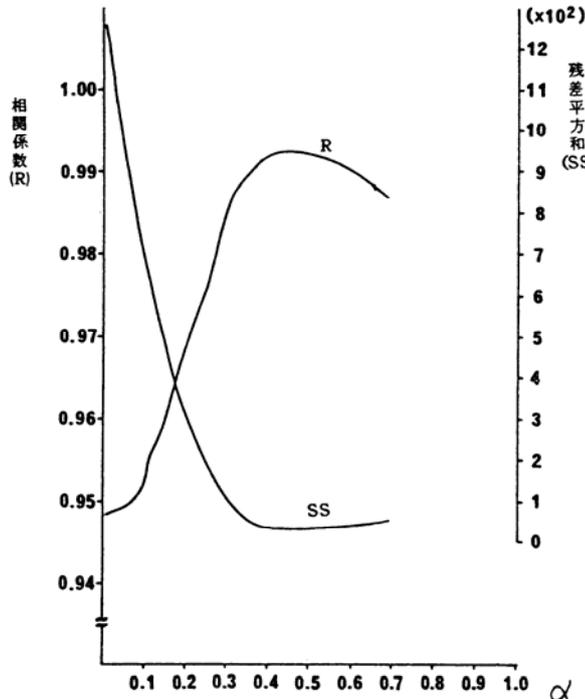


図-3 相関係数と残差平方和

Ⅲ型の面積 (PA₃) は

$$PA_3 = \frac{1}{2} w(h_1 + h_3) = \frac{1}{4} w(2h_1 + 2h_3)$$

これから類推して一般式は $PA_i = \frac{1}{4} w\{2h_1 + (i-1)h_3\}$

$$h_3 = \alpha h_1 \text{ とおき } PA_i = \frac{1}{4} w h_i \{2 + (i-1)\alpha\} \dots\dots(2)$$

但し, h₁, h₂, h₃ は各部位の寸法 (図-2 参照)

(2)式は類型間の面積比をパラメータαで示した算定式になり図-2の場合はα=0.67の場合を示している。

次に自然樹形に近い独立樹木を選び写真に撮り, それをデジタル面積計により3回樹冠面積を測定しその平均を実測値として求めた。本研究では128例の実測値を得た。(1)ここで前記パラメータαにいろいろな数値を入れ類型値を計算し実測値と比べ最適な類型値を求めた。(αは0~0.67まで0.05おきに代入した)

次の図-3は類型値と実測値との相関係数(R)と残差平方和(SS)を示したものである。Rで最も高い値はα=0.45で, SSの最小値もα=0.40~0.45の間で示しているのでα=0.45の類型値が最適値といえる。このときの樹冠比は I=0.5 II=0.125 III=0.7250 IV=0.8375 となる。

次にαの値別に標本のかたよりを調べたものが表-1である。これは上記でα=0.45が最適値と得られたが各類型に分類された標本に片寄りがあると, 計算上はともかく類型として適切であるとは言えなくなるので, それを検証するために行なった。表-2をみるとα=0.45ではI型に分類された標本数がやや少ないが, 他のII~IV型は比較的均等に分類されている。他の値の場合と比しても片寄りが少ないから, この点からもα=0.45で基準値を求めることは適切であると判断できる。(図-4参照)

表-1 類型の分類状況

α 類型	1	2	3	4
0.05	0	1	1	126
0.10	1	1	4	122
0.15	1	2	9	116
0.20	1	8	9	110
0.25	2	11	14	101
0.30	2	15	26	85
0.35	2	16	37	73
0.40	4	22	45	57
0.45	4	32	46	46
0.50	6	37	58	27
0.55	8	43	66	11
0.60	9	49	67	3
0.65	11	57	59	1
0.70	11	65	51	1

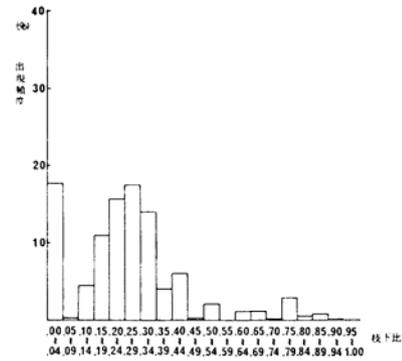


図-5 枝下比ランク別出現頻度

表-2 樹種別枝下比

樹種	平均値		
	Th	Th ₂	Th ₂ /Th
アカギ	8.51	2.69	0.31
アオダマシ	7.89	5.88	0.74
アイヌマシ	6.00	2.00	0.36
イヌマシ	10.13	2.01	0.20
エドヒヤク	8.99	3.24	0.36
エドヒヤク	6.45	1.58	0.25
カシ	3.38	0.19	0.03
クヌギ	8.58	2.08	0.25
クヌギ	9.40	3.70	0.37
クヌギ	6.62	2.02	0.28
クヌギ	10.50	3.35	0.31
コナラ	9.89	2.90	0.29
コナラ	6.32	1.72	0.26
ササ	3.98	0.02	0.003
シラカバ	8.70	1.75	0.21
スズナギ	7.27	1.68	0.24
スズナギ	8.50	5.00	0.58
スズナギ	6.34	1.52	0.25
トウモロコシ	10.00	3.14	0.31
トウモロコシ	5.65	1.62	0.29
トウモロコシ	7.63	1.57	0.19
トウモロコシ	8.69	2.17	0.24
ヒノキ	8.24	3.78	0.44
マラヤ	11.90	2.60	0.22
ブラタ	6.67	1.73	0.28
マテバ	8.25	1.00	0.11
モチノ	5.96	0.26	0.05
モウ	5.67	1.42	0.25
ユリ	12.12	3.38	0.27

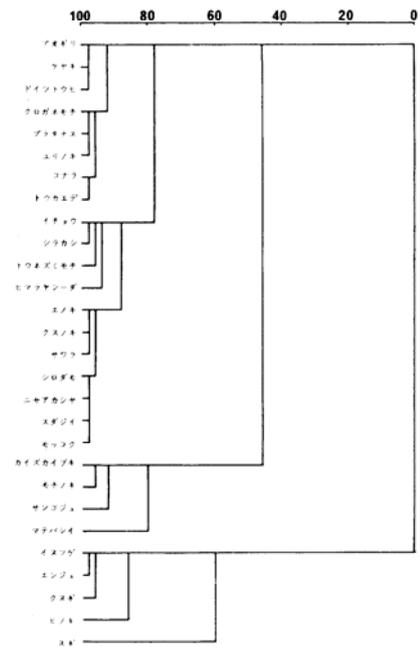


図-6 枝下比のクラスター分析

I型 ヒマラヤシーダ



II型 ユリノキ



III型 コノデガシワ



IV型 サングジュ



図-4 類型と樹種の例

3. 枝下比

東京中野で行なわれた樹本調査⁽²⁾の約3000の枝下比のデータをもとに枝下比の基準値を求めた。

図-5は枝下比を0.05ごとのランクに分けその出現頻度を求めたものである。このグラフをみると0.00～0.04及び0.25～0.29にピークがあり他に0.40～0.44, 0.50～0.54, 0.75～0.79に小さなピークが見られるので3分類するときこれらの値が基準値になると予想されるが、このことをふまえてクラスター分析を行なった。なお表-2が樹種別の枝下比で図-6が分析したクラスター図であるが、これによると枝下比は0.003～0.11, 0.19～0.33, 0.36～0.74のグループに分かれる。前出図-5出現頻度図と合せてみるとL型(枝下比・低)は0.00～0.04, M型(同・中)は0.25～0.29そしてH型(同・高)は0.40～0.45のランクがそれぞれ対応していることがわかる。従って枝下比基準値はそれぞれのランクの中点をとるとL型0.02, M型0.27型, H型0.42となる。

4. 隙間率

枝葉の隙間率を定量的に分析した例は皆無といってもよく、分析方法もない状況である。そこで著者らは一つの試みとしてコンピューターによる画像処理技術を用いて測定した。このシステムを詳しく述べることは別の機会に譲るものとして、その概略についてふれておく。

抽出したい色を光の3原色(赤, 緑, 青)に分離して出力レベルを電子回路に記憶させる。次に測定する対象(図面や写真)にハロゲンランプを照射し(0.1mm径)反射光をレンズで集光し特殊なミラー(ダイクロイックミラー)により3原色に分解し出力信号として電子回路に送る。電子回路では先に記憶しているレベルと出力信号と比較し3原色とも同一の場合のみ抽出の命令をコンピューターに出力する。一方画面の走査は図面を貼ったドラムを回転することと検出ヘッドを平行移動させること、つまりリニアトラッキング方式のレコードプレーヤーと同じ方法で全画面をカバーする。走査ピッチは0.1mmから行なえる。これらの一連の動作により画面から任意の色や位置を測定できるわけである。

そこで、著者らは枝葉と隙間を別々の色で表現できるならば空隙率が測定できると考え、誤差を小さくするために背景つまり空隙の色と枝葉のコントラストの強い樹木を探し写真撮影し同装置で測定した。この結果が表-3である。

なお初めての試みであり、今もってしても試行錯誤の段階なので基準値を求めるまでの成果は得られていない。その上で今回の測定結果をみると、一部樹種を除き隙間率は0.1以下であり、樹冠比や枝下比と比べると樹木全体の空隙率に対する影響度、特に樹種間の差等は小さいものと考えられる。

表-3 樹種別隙間率

樹種	隙間率 (%)
イ チ ヨ ウ 1	1.67
" 2	7.47
エ ン ジ ュ	11.77
カイズカイブキ	1.97
キンモクセイ	2.88
ク ス	2.09
ク ヌ ギ	9.31
サ ワ ラ	5.10
サンゴジュ	5.14
シ ナ ノ キ	2.81
シ ラ カ シ	1.95
トウカエデ	5.00
ヒマラヤシダ	22.31
モ ッ コ ク	6.78
ヤ マ モ モ	2.01
ユ リ ノ キ	4.98

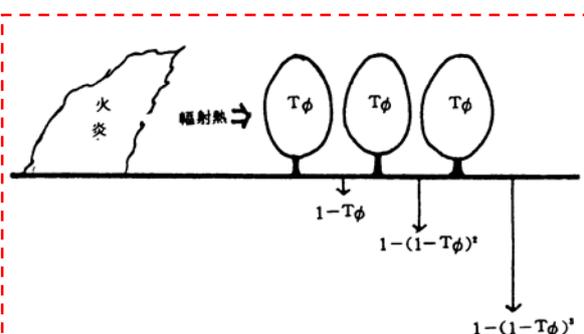


図-7 樹林帯の遮蔽率

5. 樹林帯の遮蔽率の検討

樹木の遮蔽率の算定化をもとに樹林帯の遮蔽率を求める方法について簡単にふれておく。

図-7に、3列の樹林帯の遮蔽率を示した。すなわち1列目の樹木に遮られ2列目樹木の直前の放射熱は $1 - T\phi$ となる。次にこの放射熱が2列目の樹木を通った後の放射熱は $(1 - T\phi) \cdot (1 - T\phi)$ つまり1,2列の樹木の遮蔽率は $1 - (1 - T\phi)^2$ である。

同様に3列では $1 - (1 - T\phi)^3$

n列では $1 - (1 - T\phi)^n$

となる。

樹林帯の遮蔽率を求めるためには樹林の上方からの放射熱の量、各列で遮蔽率が異なる場合とかまだ検討項目は多く残っているが基本的には上記に示した方法で求められると考える。

6. 実験値との比較による検証

以上の検討により、遮蔽率の算定式及びその結果を示したが、これらは想定を精緻化したものなので、最後に実際に実験により求めた実験値との比較を示す。なお、

実験は建築研究所内の輻射熱炉を用い、カイズカイブキを標本として測定したものである。

実験による測定結果は、

樹木1列の場合 $T\phi = 0.730$
 同2列 $T\phi = 0.892$
 同3列 $T\phi = 0.946$

となった。

一方算定方式によって求めると、カイズカイブキは、樹冠比はⅢ型(0.7250)、枝下比はL型(0.02)、樹冠の隙間率0.0197であるから

$$1 \text{ 列は } T\phi = 0.7250 \times (1 - 0.0197) \times (1 - 0.02) = 0.6965$$

$$2 \text{ 列は } T\phi = 1 - (1 - 0.6965)^2 = 0.9079$$

$$3 \text{ 列は } T\phi = 1 - (1 - 0.6965)^3 = 0.9720$$

となり測定結果と概ね一致している。(図-8参照)

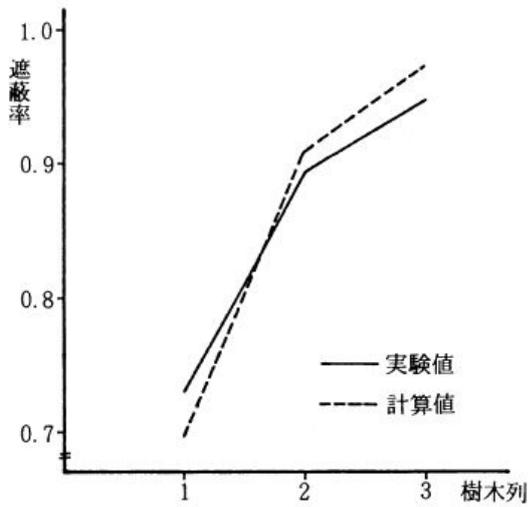


図-8 遮蔽率・実験値と計算値の比較

結論

本報告により樹木の遮蔽率の算定法とその結果についての概要を明らかにできたと思う。樹木の隙間を求めることができると樹木の延焼遮断効果算定法の開発という目標にむかって大きく進んだと思われる。最後に今後残された課題を列記しておく。

- ・隙間率測定法は現在はミニコンベースの大きかりの装置によっているため、測定データ数を増やすことが簡易でないで小型計算機ベースのものを開発する必要がある。
- ・これにより隙間率の基準値を早く求める。
- ・他の基準値もデータ数を増し精度を上げていく。

参考文献

- 1) 岩河信文(1982)：都市における樹木の防火機能に関する研究：東京大学学位論文
- 2) 建築研究所都市防災研究室(1978)：延焼遮断帯を構成する緑地空地の実態調査：建設省建築研究所
- 3) 三菱電機株式会社(1978)：三菱パターン・アナライザMPA-7200説明書。

3 輻射熱シミュレーションモデルの比較について

①避難有効面積算定式

以下の手法について比較を行い、現行手法の妥当性の確認を行う。

1)浜田理論（現行手法）

故 浜田稔 東京理科大学教授の理論による手法で、神奈川県大震火災避難対策計画（S46）で採用されている。

2)総プロ

昭和 56 年建設省総合プロジェクト「都市防火対策手法」（以下「総プロ」）で提案されている手法。

3)簡便法

改訂 都市防災実務ハンドブック「耐震に強い都市まちづくり・地区まちづくりの手引き」で提案されている方法。（推薦：国土交通省都市・地域整備局都市防災対策室）

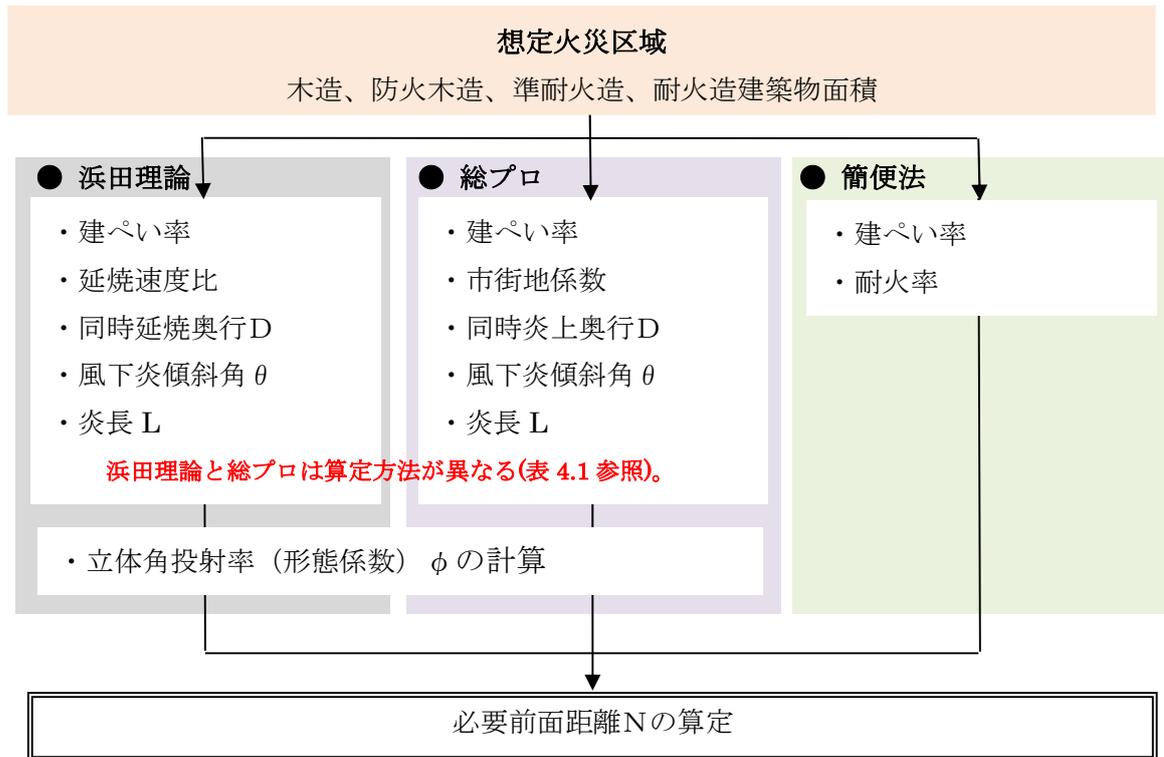


図 3.1 各手法の必要前面距離 N の算定フロー

② 各手法の計算方法

1) 浜田理論

(1)式と(4)式を連立させて必要前面距離 N について求める。

$$R = E \times \phi \quad \text{--(1)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{許容輻射受熱 } R = 2050 \text{ Kcal/m}^2\text{h} \\ \text{輻射放射熱 } E = 39350 \text{ Kcal/m}^2\text{h} \\ \phi : \text{立体角投射率 (形態係数)} \end{array} \right.$$

2) 総プロ

(2)式と(4)式を連立させて必要全面距離 N について求める。

$$R = E \times \phi \times \sqrt{\varphi} \quad \text{--(2)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi : \text{市街地係数} \\ \sqrt{\varphi} : \text{火災前面補正係数} \end{array} \right.$$

立体角投射率 (形態係数) ϕ は以下の式で表される。

$$\left. \begin{array}{l} \text{基軸が火災面外の時} \\ f(a,b,n) = \frac{1}{2\pi} \sin\theta \left(\frac{a}{\sqrt{n^2+a^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{n^2+a^2}} + \frac{b}{\sqrt{n^2+b^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{n^2+b^2}} \right) - \frac{1}{2\pi} \cos\theta \left(\frac{n}{\sqrt{n^2+a^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{n^2+a^2}} - \tan^{-1} \frac{b}{n} \right) \\ \text{基軸が火災面内の時} \\ f(a,b,n) = \frac{1}{2\pi} \sin\theta \left(\frac{a}{\sqrt{n^2+a^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{n^2+a^2}} + \frac{b}{\sqrt{n^2+b^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{n^2+b^2}} \right) + \frac{1}{2\pi} \cos\theta \left(\frac{n}{\sqrt{n^2+a^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{n^2+a^2}} - \tan^{-1} \frac{b}{n} \right) \end{array} \right\} \text{--(3)}$$

$$\phi = 2 \times (f(a1,b,n) - f(a2,b,n)) \quad \text{--(4)}$$

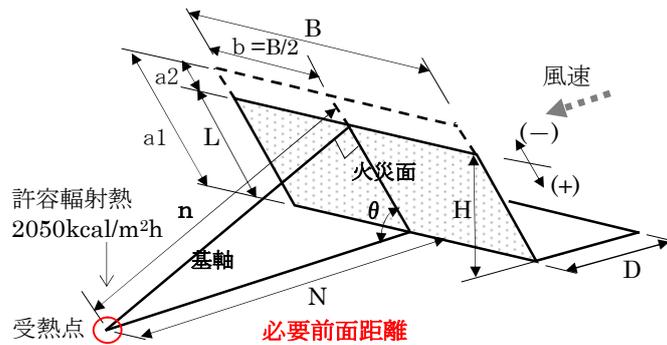


図 3.2 立体角投射率モデル

B : 火災正面幅(400m)	N : 必要全面距離 (仮定) *
b : B/2 (既知)	n : N × sin θ (仮定値 N と θ より)
L : 炎長 (表 5)	a1 : N × cos θ (仮定値 N と θ より)
θ : 風下炎傾斜角 (表 5)	a2 : a1 - L
* (1)式、(4)式を満足する φ を N の仮定により求める。	

表 3.1 浜田理論と総プロの「炎の傾き θ 」と「炎長 L」

	浜田理論	総プロ
同時延焼奥行 D	$D = V \cdot t$ ここで V は延焼速度(441m/h)、t は 1 棟が着火から焼落ちる迄の時間(0.235h)である。 $D =$ 同時延焼奥行 104m	$D = \min\{50, 1179 \cdot \varphi^3 + 10\}$ φ : 市街地係数 $= (1 - 0.6c) \cdot m$ c : 耐火造建築面積/全建築面積 m : 全建物建ぺい率 D : 同時炎上奥行
風下炎傾斜角 θ	$\theta = \tan^{-1}(4 \cdot m \cdot n \cdot D / U^2)$ $U =$ 風速 (m/s) n : 延焼速度比 $= (\text{木造面積} + \text{防火木造面積} \cdot 0.8 + \text{準耐火造面積} \cdot 0.5 + \text{耐火造面積} \cdot 0.2) / \text{全建築面積}$	$\theta = \sin^{-1}(2/U)^{0.2}$ $(U = 2\text{m/s}, \theta = 90^\circ \text{ として設定})$ $U =$ 風速
炎長 L	$L = ((0.024 \cdot L^\infty + 1.25) \cdot m \cdot n - 0.5) \cdot D \cdot B / (B + D / \sin \theta)$ m : 全建物建ぺい率 D : 同時延焼奥行 (m) B : 風下火災正面幅=400m $U = 8.0\text{m/s}$ のとき $L^\infty = 33\text{m}$	$L = 4.7 \cdot \beta \cdot (D^3 / U)^{0.2}$ $\beta = 0.0133 \cdot (D - 10) \cdot (\varphi - 0.1) + 3.981 / D^{0.6}$

3) 簡便法

簡便法による必要前面距離 N は建ぺい率と耐火率により、以下の式により求める。

$$N = m \times (1.412 - 0.0082 \times c) + 19.4 \quad (\text{最低距離 } 30\text{m} \text{ とする})$$

- N : 必要前面距離 (m)
- m : 建ぺい率 (% : 全建築面積/想定火災区域面積)
- c : 耐火率 (% : 耐火造建築面積/全建築面積)

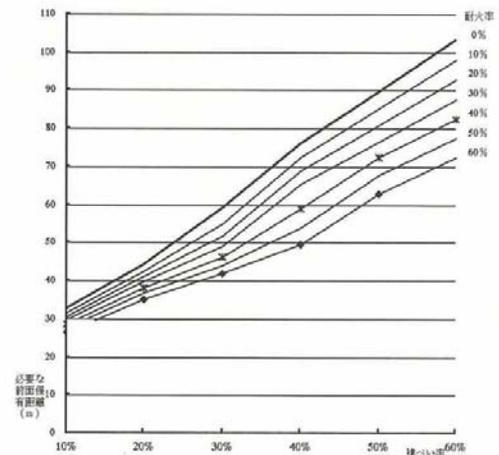


図 3.3 簡便法の建ぺい率と必要前面距離の関係

建物構造について、浜田理論では延焼速度比として、木造、防火木造、準耐火造、耐火造が考慮されているのに対して、総プロ、簡便法では、市街地係数として、耐火造だけが考慮されている。

また、簡便法は、風速の項がない。

③各手法の比較

1)必要前面距離の比較

以上の条件より、各手法の必要前面距離を求め比較した（風速 8m/s）。

検討の対象は「7茅ヶ崎ゴルフ倶楽部、浜須賀小学校」（避難場所面積：265,417m²）とした。結果を表 3.2 及び図 3.4 にまとめた。

この結果、必要前面距離は、

浜田理論 > 総プロ > 簡便法

の順になる傾向がある。

なお、この計算は、手法の比較のため遮蔽物による輻射熱遮蔽の計算は行っていない。

図 3.4 各手法の必要前面距離の比較

表 3.2 必要前面距離算出結果

想定火災 区域	正面 幅 m	建物構成比(%)				建蔽率 %	必要前面距離(m)		
		木造	防火木造	準耐火造	耐火造		浜田理論	総プロ	簡便法
1	130	43	52	5	0	35	72	68	68
2	400	34	64	2	0	40	142	88	75
3	150	32	52	16	0	38	75	70	68
4	311	26	72	1	0	34	85	76	67
5	400	30	66	4	1	36	93	81	69
6	400	32	63	6	0	31	86	67	62
7	400	30	68	2	0	35	87	79	68
8	160	31	69	0	0	36	76	74	71
9	125	9	91	0	0	37	71	71	72

2) 各手法の比較

茅ヶ崎市の広域避難場所の検討に使用する手法は、表 3.3 から総合的に評価すると浜田理論による手法を採用することが妥当であると考えた。

表 3.3 手法の比較

項目	浜田理論	総プロ	簡便法
神奈川県大震火災避難対策計画 (S46) との整合	◎	×	×
建物構造	木造、防火木造、準耐火造、耐火造を評価 ◎	耐火造だけ評価 △	耐火造だけ評価 △
風速	炎の傾き、炎長が変わる (必要前面距離が変わる) ○	△	評価していない ×
安全性の評価 (表 4.2 より)	最も危険側 ○ (計画上は、安全側)	△	△
遮蔽物モデルの導入	可能 ◎	可能 ◎	不可 ×
計算式の簡便さ	方程式を二分法による数値解析によって解く ○	方程式を二分法による数値解析によって解く ○	2変数の一次方程式により成り立っているため解くのは容易 ◎
避難場所の安全性 検証実績	東京都 (特別区内)、横浜市など	不明	不明
避難場所の安全性の検証手法としての適用性 (総合評価)	◎	○	○

4 避難場所利用可能率について

①使用可能面積

広域避難場所の使用可能面積は、輻射熱シミュレーション結果（土地利用面積）及び土地利用別利用可能率により、以下の式により求める。

$$\text{使用可能面積} = \Sigma (\text{安全面積の土地利用別面積} \times \text{土地利用別利用可能率} / 100) \\ + 1/4 \Sigma (\text{準安全面積の土地利用別面積} \times \text{土地利用別利用可能率} / 100)$$

②土地利用別利用可能率と考え方

表 4.1 広域避難場所内の土地利用別の利用可能率

土地利用	利用可能率設定の考え方	利用可能率%
小規模建築敷地	小規模建築敷地（一般住宅）は、建物以外の空間（庭など）が小さく避難場所に適していないことから0%とする。	0
崖及び人工斜面	避難時の安全性を考慮して0%とする。	
道路	幹線道路は、震災時には通常より交通量が増すことが懸念されるため、広域避難場所内の道路は幅員12mを目安として、これ以上の幅員の道路を0%、これ未満を100%とする。 なお広域避難場所の外周部分の道路は、含めない。	
工事中	段差、重機、建築資材などに対する安全性の問題から、工事完了までの間は0%とする。	
水域（河川、池、プールなど）	水深によって利用可能性はあるものの、冬季や夜間などの避難には適していないため、一律0%とする。	
砂防林（飛砂防備保安林）	海岸沿いの砂防林は、樹高が低く密集して植生していることから、現状では人の侵入を妨げている。このことから0%とする。	
鉄道用地	運転状況に限らず、夜間も含めて0%とする。	
墓地	墓地は、墓地区画と通路で構成されている。墓地の避難場所としての利用は通路と墓地区画の墓石、墓誌、物置台などを除く区域が可能で、墓石が地震によって転倒しないものとする。墓地区画の約1/2が避難に利用できると想定して、茅ヶ崎市内の霊園を選んで、利用可能率を算出した。利用可能率は、これを参考として40%とする。	40
建築物の周囲	地震後の落下物を考慮して、建築物の周囲2mの範囲において50%とする（建物周囲4方向の落下はないものと考え、2方向の落下を考慮した）。	50
自動車駐車場	時間帯にもよるが、公園や共同住宅などの駐車場の平均値として一律50%とした。	
樹林	文献*などから50%とした。	100
農用地	特に避難利用の障害となるものがないことから、100%とした。	
上下水道施設	公園などが上部に整備されている場合は、100%とする。	

*「地震に強い都市づくり・地区まちづくりの手引き」都市防災実務ハンドブック編集委員会（平成17年2月）

(3) 輻射熱シミュレーション結果 (安全性の確認) について

1 安全性の判定方法

輻射熱シミュレーションによって作成した安全性検証図を用いて、広域避難場所内の輻射熱からの安全性の判定を以下のように考えた。

表1 安全性の判定

安全面積と準安全面積	安全性の判定
①安全面積が確保されていないか、又は極端に小さい	×
②安全面積は確保されているが、準安全面積が多くを占める	△
③準安全面積に対して、安全面積が多くを占める	○
④準安全面積がなく、安全面積だけが占めている	◎

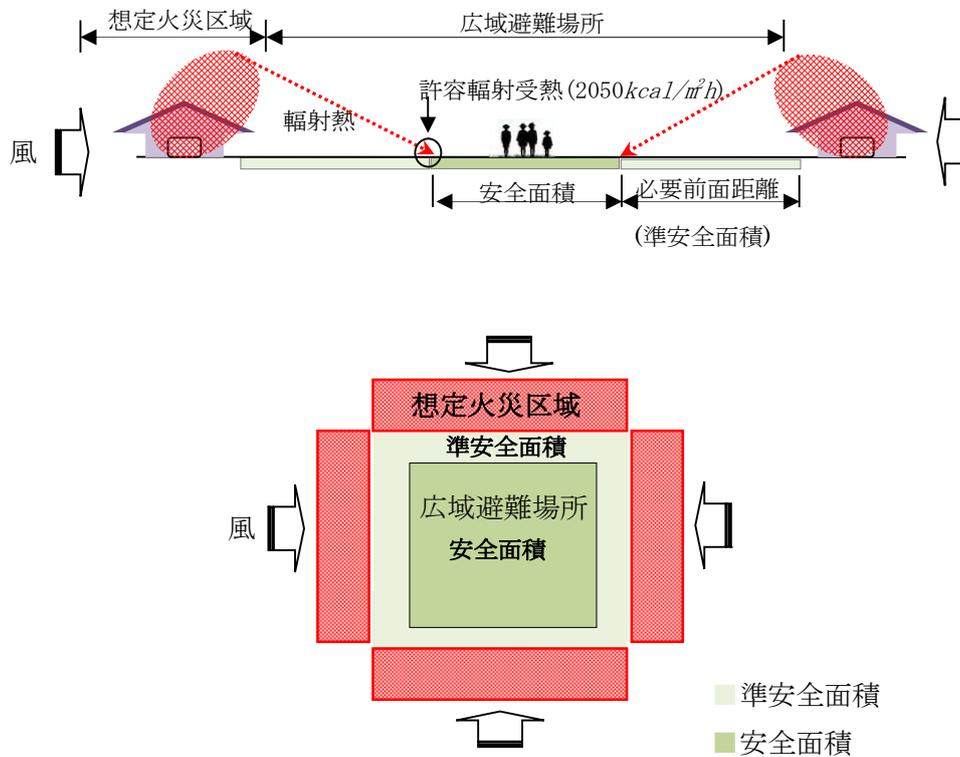


図1 安全面積と準安全面積

②安全性の判定結果

別冊に整理した安全性検証図から、安全性の判定結果を図2にまとめた。

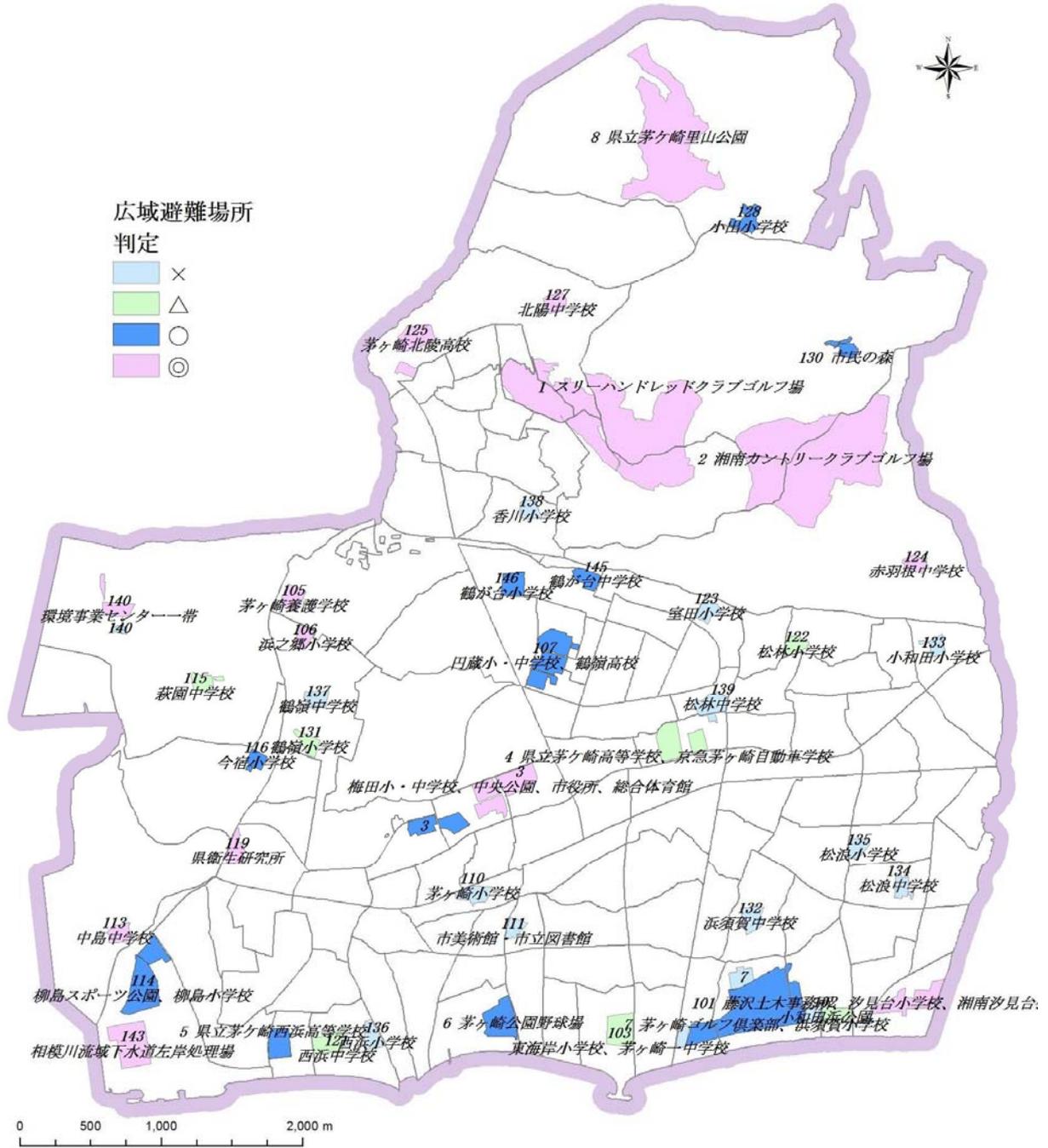


図2 現行広域避難場所及び候補地の安全性の判定結果

※×△の判定については、安全性の観点から広域避難場所の候補地から除くこととした。

(4) その他

茅ヶ崎市防災会議 第3回専門委員会議の内容について

茅ヶ崎市防災会議 第3回専門委員会議

日時：平成29年6月●日（●）●時●分から●時●分まで

場所：茅ヶ崎市役所本庁舎4階 会議室●

次 第（案）

1 開会

2 議題

(1) 茅ヶ崎市防災会議 第2回専門委員会議の意見要旨について

(2) 広域避難場所の指定について

(3) 地区割り当てについて

(4) 広域避難場所の安全性の向上について

(5) その他

3 閉会