

議題 1 第 2 回専門委員会議を踏まえた資料の修正等について

- (1) 輻射熱シミュレーションの方法について
- (2) 輻射熱シミュレーションの結果（安全性の確認）について

平成 2 9 年 7 月 3 日（月）

茅ヶ崎市防災会議第 3 回専門委員会議

主な意見（第2回専門委員会議）一覧

番号	議題	委員意見	意見を踏まえた対応
1	風速について	風速の観測場所（辻堂観測所、消防署観測所）は、炎が立ち上がったときの高さの風速が拾えると考えられることから、問題ないとする。	市域の内陸部については、消防署観測所、海岸部については、辻堂観測所の風速・風向の観測データを用いることとする。
2		風速 8 m/s を超える強風時の風向分布を確認したい。	海岸部、内陸部のそれぞれについて、8 m/s を超える強風時風向分布を確認できる資料を追加した。
3		総プロモデルは炎の長さを変化しないというモデルになっている。	委員意見を反映した資料として「③風速と必要前面距離」を追加し、炎の傾き等について補足した。
4	樹林帯の遮蔽効果について	図 2.4 「輻射受熱量と前面距離の関係（浜田理論による結果）」における樹林の高さはどのくらいか。	第2回専門委員会議では、樹林の高さを 15 m と返答したが、樹林の高さは計算式に含まれていなかったため、訂正する。
5		樹林に期待する気持ちは分かるが、防火の点から過大な期待は禁物である。	安全性の確認に際して、樹林帯の遮蔽効果は計算に含めない。ただし、今後検討の必要性が生じた場合は、個別の詳細調査等により検証を行う。
6	輻射熱シミュレーションモデルの比較について	浜田理論と総プロは、そもそも出身（目的）が異なる。	各手法について、その出身（目的）を追記した。
7		総プロモデルに不燃領域率がパラメータに入っているかについて確認すること。	確認したところ、不燃領域率はパラメータに入っていなかった。
8		表 3. 2 「必要前面距離算出結果」については、浜田理論も総プロも大きく変わらないが、想定区域 2 における必要前面距離だけ “142” となっており、総プロに比べて数字が大きい。再度チェックするように。	チェックしたところ、間違いなかった（合っていた）。

番号	議題	委員意見	意見を踏まえた対応
9	輻射熱シミュレーションモデルの比較について	防火木造、準耐火造への考慮は、浜田理論は東京都での検討により、改良されたため、総プロについても改良すれば考慮することが可能。	浜田理論における東京都の改良経緯や総プロにおいて改良が可能である旨を追記した。
10		総合的に最も安全側ということが重要であるから、結果として広域避難場所の安全性の検証に浜田理論を採用することで良い。	広域避難場所の安全性の検証に係る輻射熱シミュレーションモデルには浜田理論を採用することとした。
11	避難場所の利用可能率について	墓地の利用可能率は一概には言い切れないので、避難場所の対象になった時に改めて検討するのが良い。	墓地の利用可能率については、避難場所等の対象となった場合に個々の状況を勘案して利用可能率を設定する。
12		建物の周囲2mの範囲の50%が利用可能であることの出典を追加するように。	根拠（出典）を追記した。
13	安全性の判定方法	安全性の検証資料は火災からの影響に徹しており、津波の条件を省いていることを追加すること。	他災害の影響は安全性の判定に考慮していない旨を追記した。
14		安全性の判定基準は、面積の絶対量で定量的に判定すべきである。 また、安全面積10,000㎡を有する場所（そのほとんどが安全面積が準安全面積を上回っている）を基本として広域避難場所の候補地としての判定基準とするのが良い。	判定基準を安全面積10,000㎡とした記載に改めた。
15	安全性の判定結果	広域避難場所候補地は安全面積の割合ではなく、面積の絶対量として判断するのが良いが、収容定員の検討は別の問題として捉えるべきである（準安全面積が安全面積を上回る場合は、準安全面積の定員を相当小さく見積もるといことも考えられる）。	今後の検討過程において、参考とすることとした。
16		面積の小さい避難所を避難場所にすることを検討する場合は、周りの環境（ゴルフ場の隣接、緑地に囲まれている等）についても判断材料とする必要がある。	面積の小さい避難所を候補とする場合は、周辺環境や指定の必要性について精査することとする。

番号	議題	委員意見	意見を踏まえた対応
17	安全性の判定結果	原則的には、すでに指定している広域避難場所については、今までどおり維持する方向が良い。	原則として、既存の広域避難場所については、今までどおり維持することとして検討を進める。
18		隣接している候補地は、分けてしまうと物理的に安全かどうかの判断がしづらくなるため、一帯として捉える必要がある。	隣接している候補地については、一帯として捉えることができるよう資料を修正した。

主な修正箇所一覧

番号	頁	項目	修正前	修正後
1	資料1 (1)P6, P12	風速について	「全年」	「全方位」
2	資料1 (1)P9, P19		なし	海岸部、内陸部のそれぞれについて8 m/sを超える強風時風向分布を確認できる資料を追加した。
3	資料1 (1)P20		なし	「③風速と必要前面距離」についての資料を追加した。
4	資料1 (1)P24	樹林の遮蔽効果	熱量を Kcal/hm <sup>2</sup> のみ記載	熱量を Kcal/hm <sup>2</sup> に加え、W/m <sup>2</sup> の表記を追記した。
5	資料1 (1)P24		なし	「2) 輻射熱受熱量と前面距離の関係(参考)」において、樹林の高さが計算式に含まれていない旨を追記した。
6	資料1 (1)P24		なし	「④樹林の遮蔽モデルの導入について」において、安全性の確認に際して、樹林帯の遮蔽効果は計算に含めないが、今後検討の必要性が生じた場合は、個別の詳細調査等により検証を行う旨を追記した。
7	資料1 (1)P31	輻射熱シミュレーションモデルの比較について	なし	①避難有効面積算定式に各手法の出身(目的)を追記した。

番号	頁	項目	修正前	修正後
8	資料1 (1)P34	輻射熱シミュレーションモデルの比較について	なし	表3.2「必要前面距離算出結果」浜田理論の必要前面距離が“142”となる理由を追記した。
9	資料1 (1)P35		「最も危険側」と記載。	「最も安全側」に修正。
10	資料1 (1)P35		なし	「2）各手法の比較」における建物構造の欄に浜田理論における東京都の改良経緯や総プロにおいて改良が可能である旨を追記した。また、総プロモデルの建物構造の項目における評価を「△」から「○」へ変更し、風速の項目欄に炎の長さが一定である旨について追記した。
11	資料1 (1)P36	避難場所利用可能率	墓地における利用可能率を40%に設定。	個々の状況を勘案して利用可能率を設定
12	資料1 (1)P36		なし	「②土地利用別利用可能率と考え方」に建築物の周囲2mにおいて50%の利用可能率とする根拠(出典)を追記した。
13	資料1 (2)P38	安全性の判定方法	定量的な判定基準ではない。	判定基準を安全面積10,000㎡とした記載に改めた。
14	資料1 (2)P38		なし	他災害の影響は安全性の判定に考慮していない旨を追記した。
15	資料2 資料3	安全性の判定結果	候補地の安全性の検証図を個々に作成。	隣接している候補地については、一帯として捉えることができるよう資料を修正した。

# (1) 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。

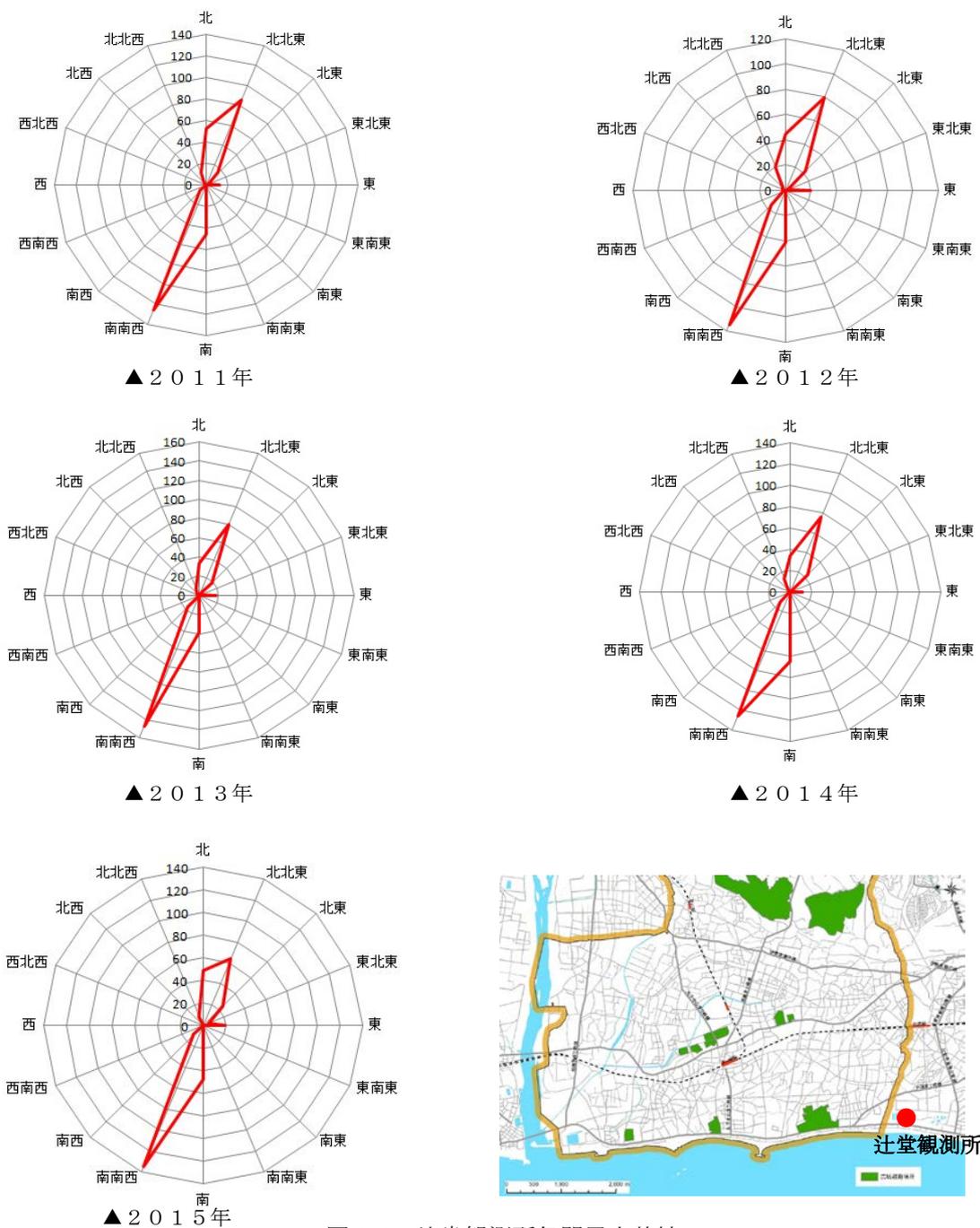


図 1.1 辻堂観測所年間風向特性

## 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。

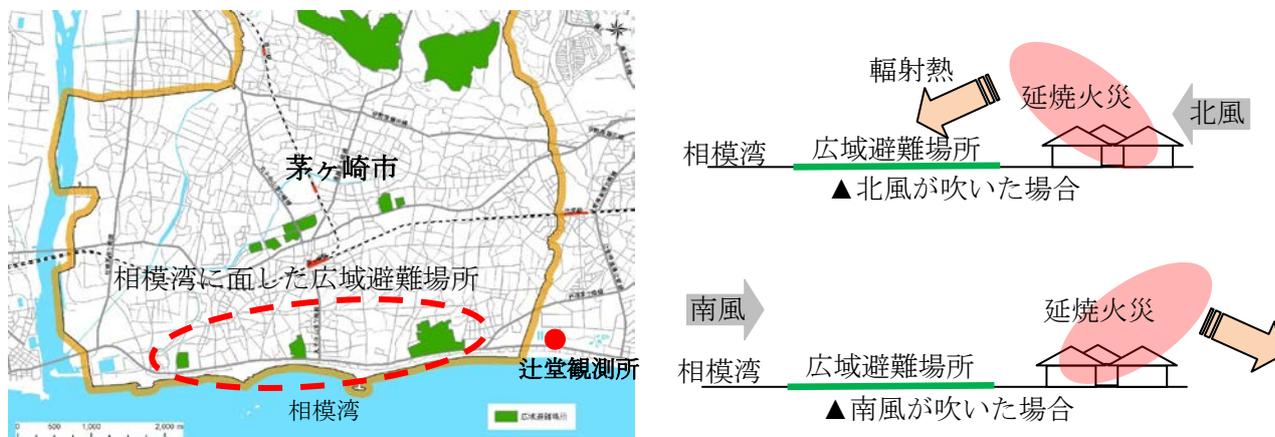


図 1.2 相模湾に面する広域避難場所の風向と輻射熱の関係

表 1.1 辻堂観測所の日最大風速の超過確率 (単位:m/s)

年	全方位			南風を除く		
	平均値	標準偏差 $\sigma$	平均値 $+2\sigma$ ※	平均値	標準偏差 $\sigma$	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%)

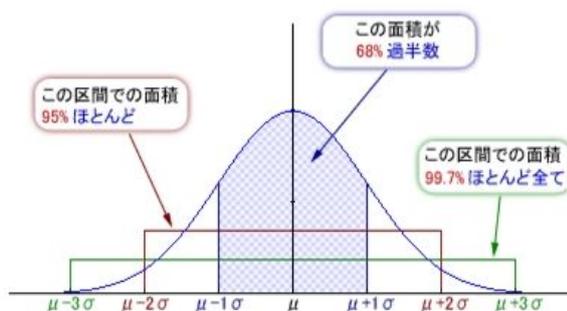


図 1.3 正規分布と標準偏差

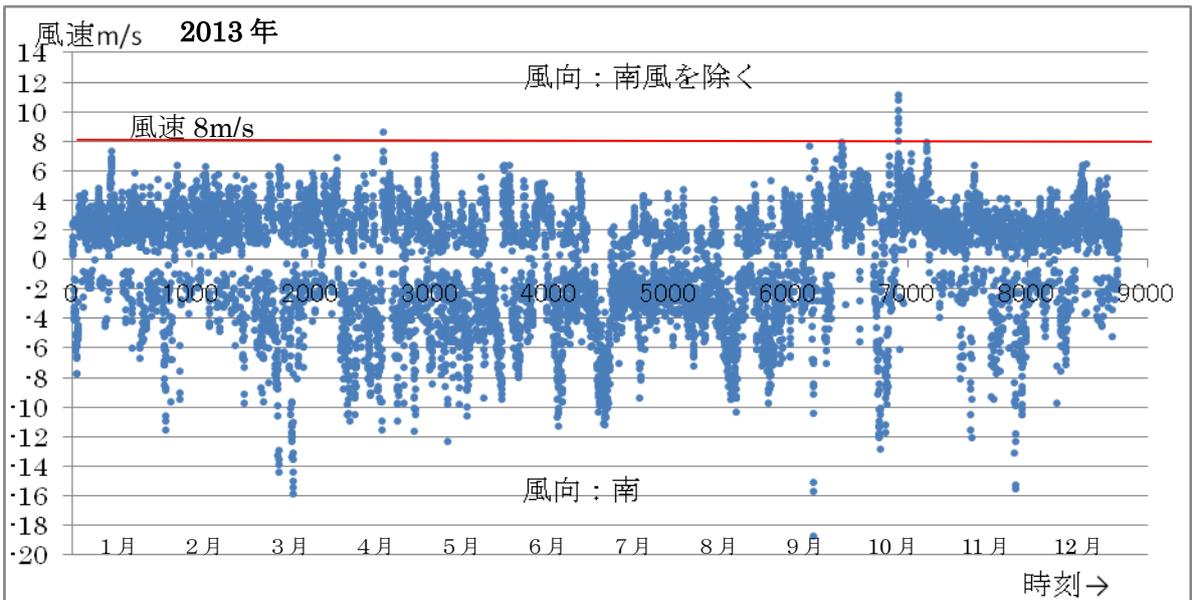
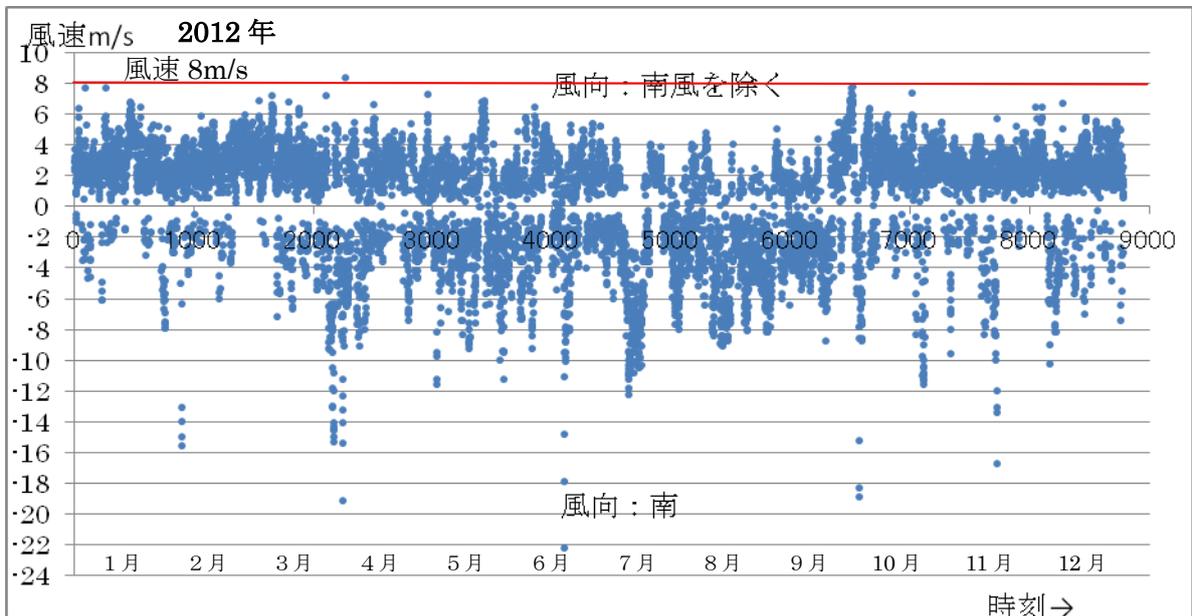
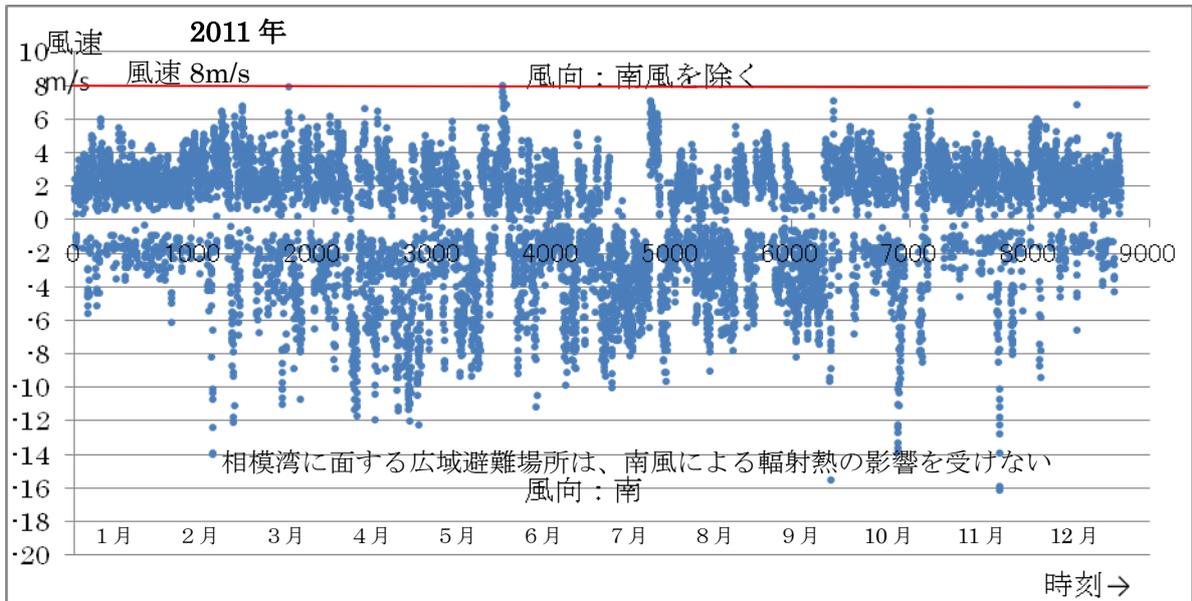


図 1.4 年間時刻平均風速 (辻堂観測所) -その 1  
 ※時刻平均風速：観測時刻の前 10 分間観測値の平均値

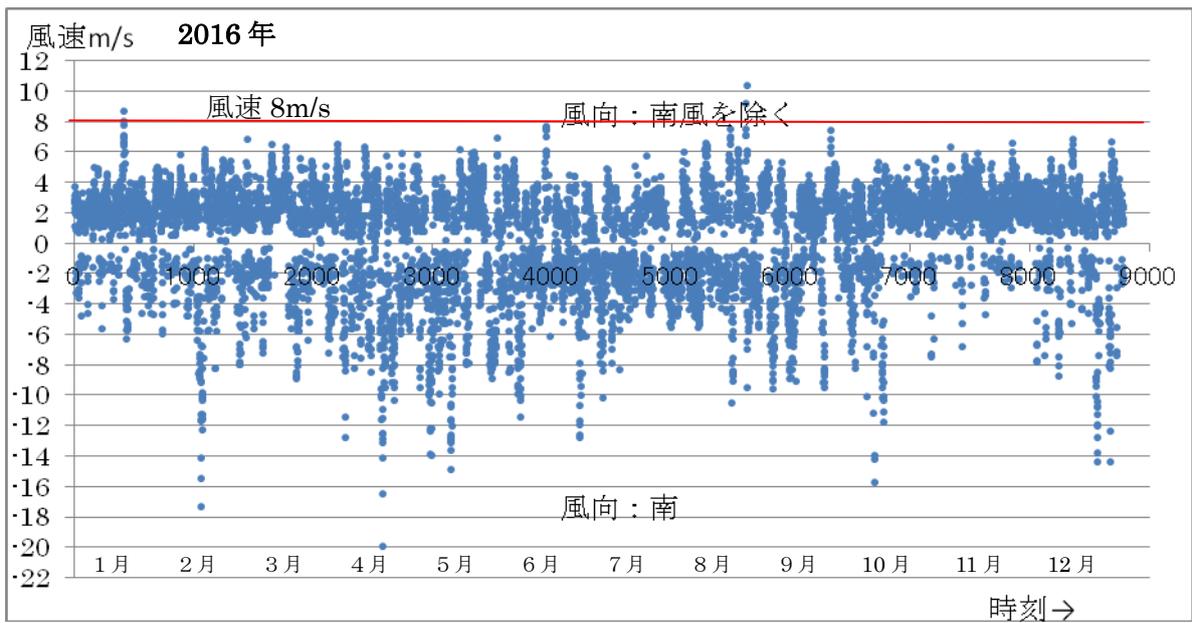
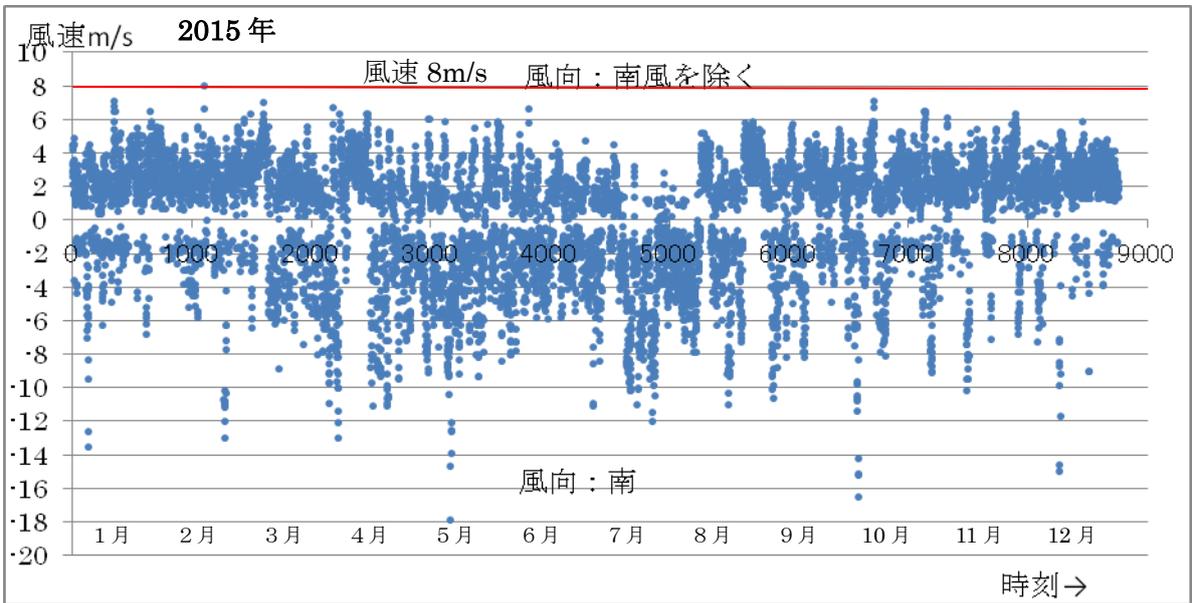
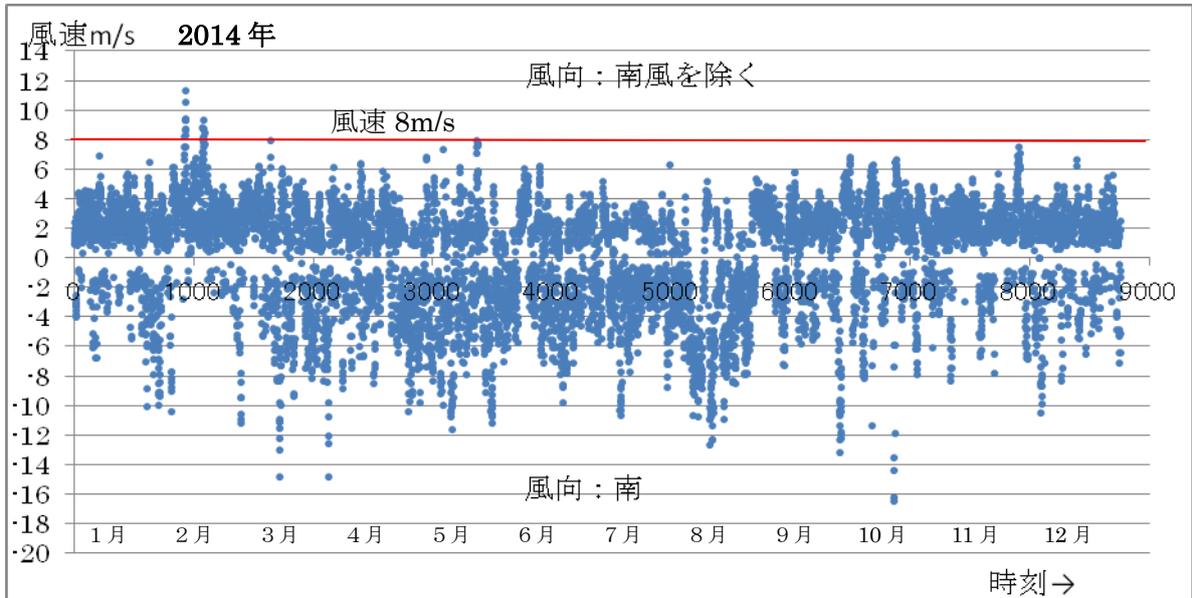
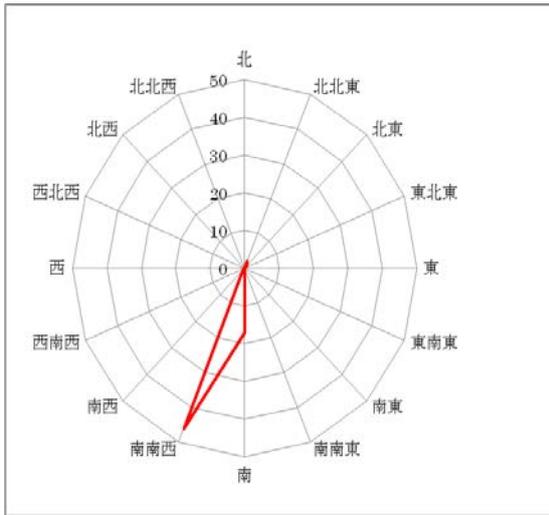


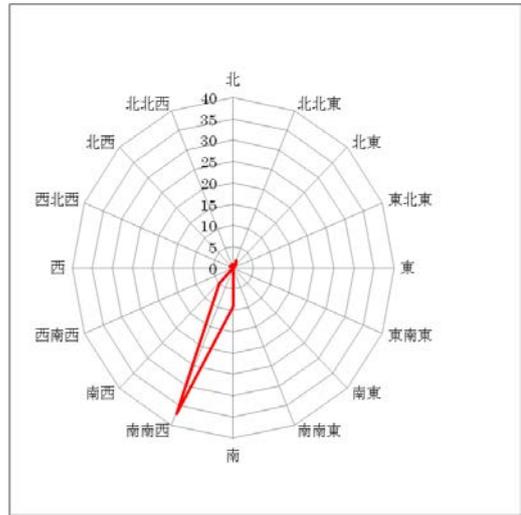
図 1.5 年間時刻平均風速（辻堂観測所）-その2  
 ※時刻平均風速：観測時刻の前 10 分間観測値の平均値

3) 8m/s を超える強風時の風向分布 (辻堂観測所)

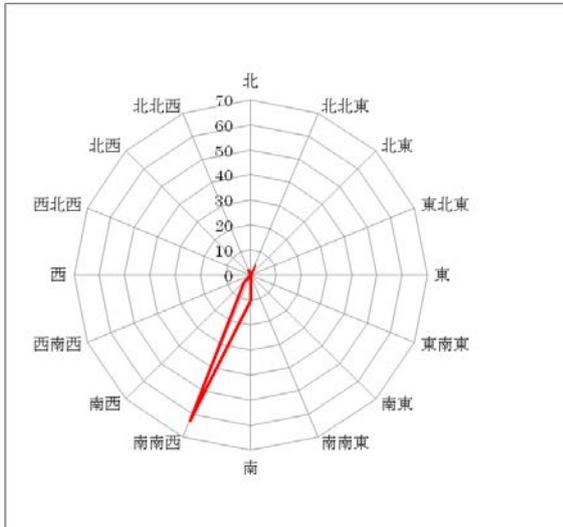
2011



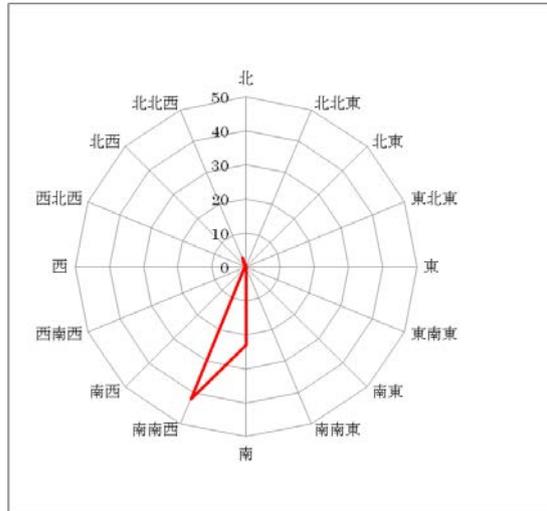
2012



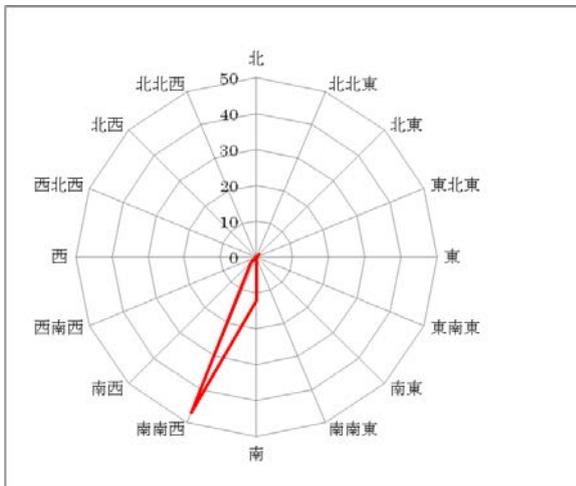
2013



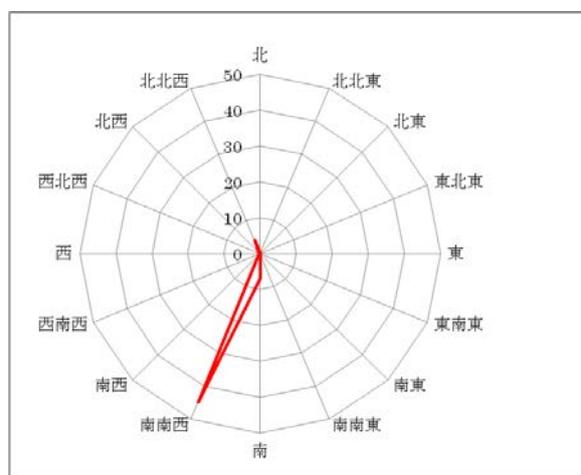
2014



2015



2016



## 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。

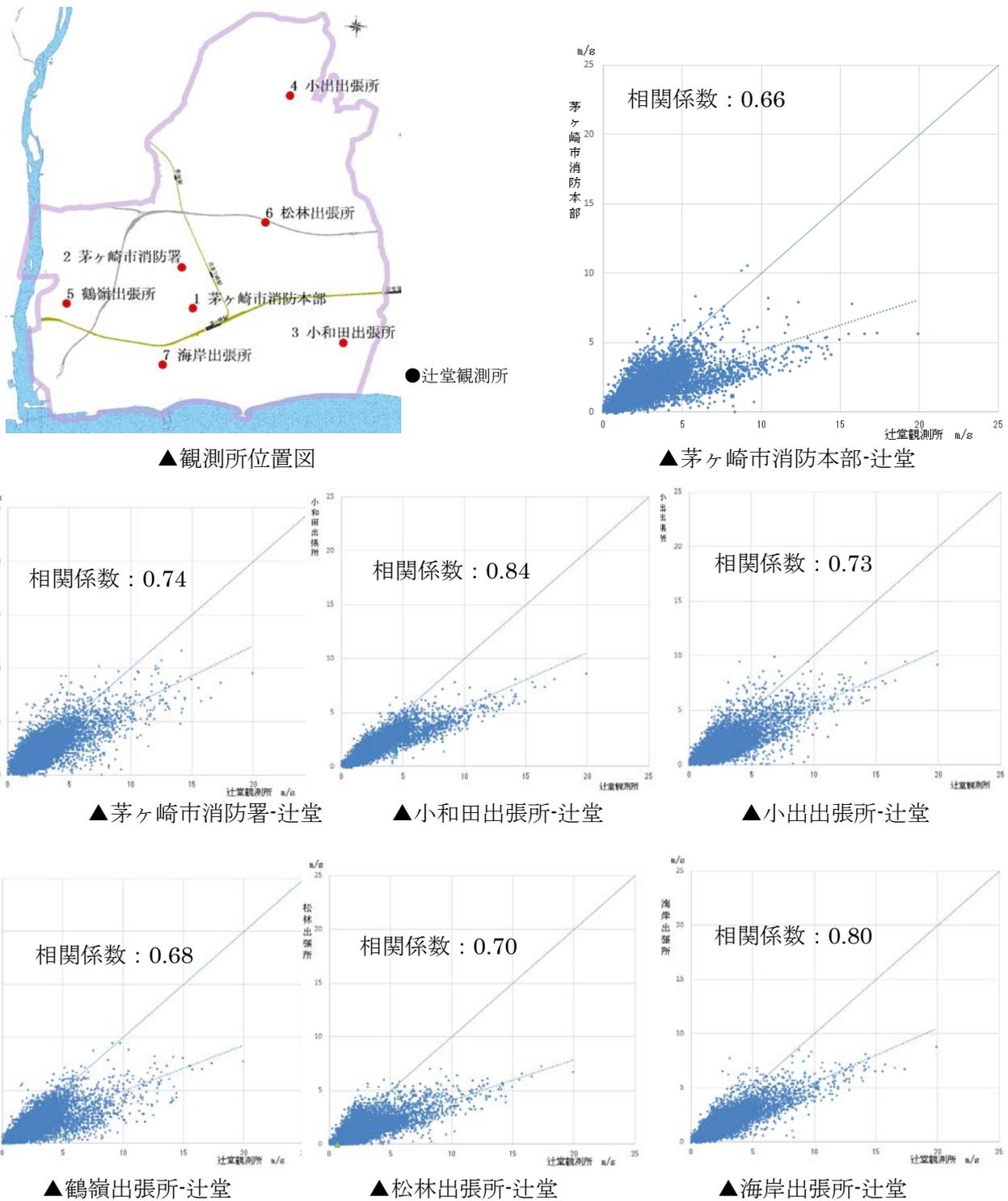


図 1.6 辻堂観測所と消防署観測所の相関

2)茅ヶ崎市消防観測所位置と観測状況

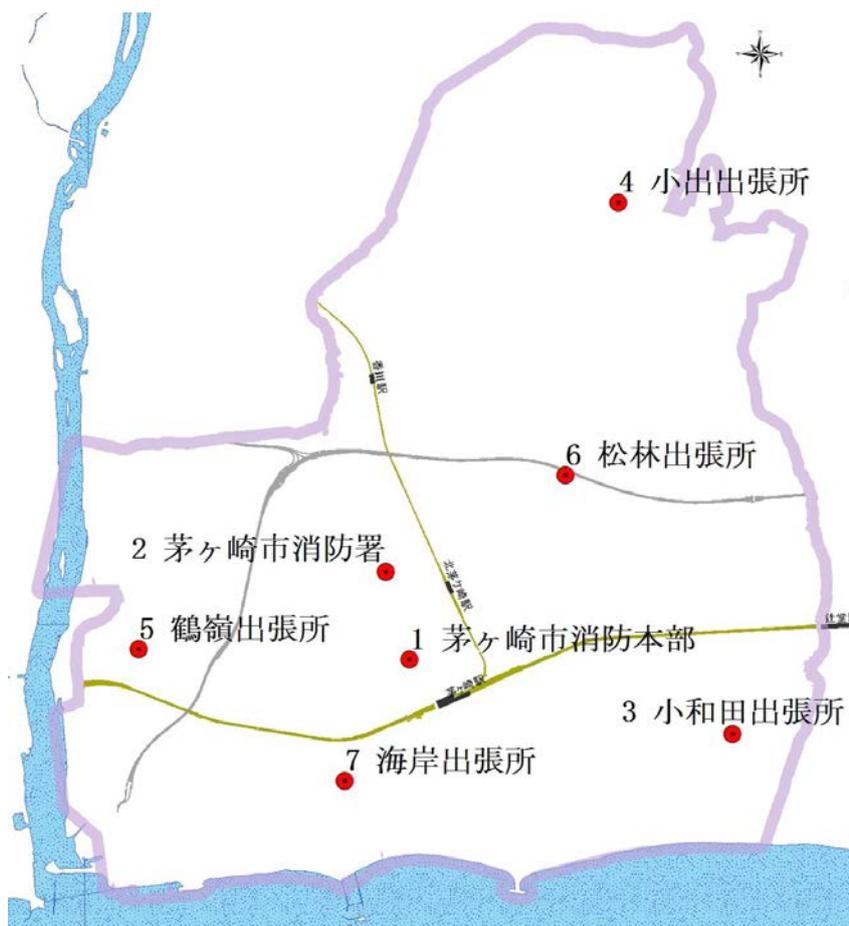


図 1.7 観測所位置

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 $\sigma$  “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。

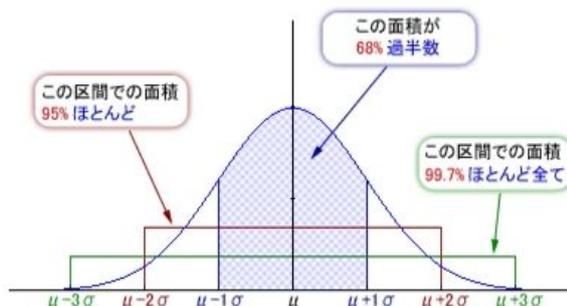
表 1.3 風速解析結果

観測所	年	全方位			南風を除く		
		平均値	標準偏差 $\sigma$	平均値 + 2 $\sigma$ ※	平均値	標準偏差 $\sigma$	平均値 + 2 $\sigma$ ※
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 $\approx$ 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。

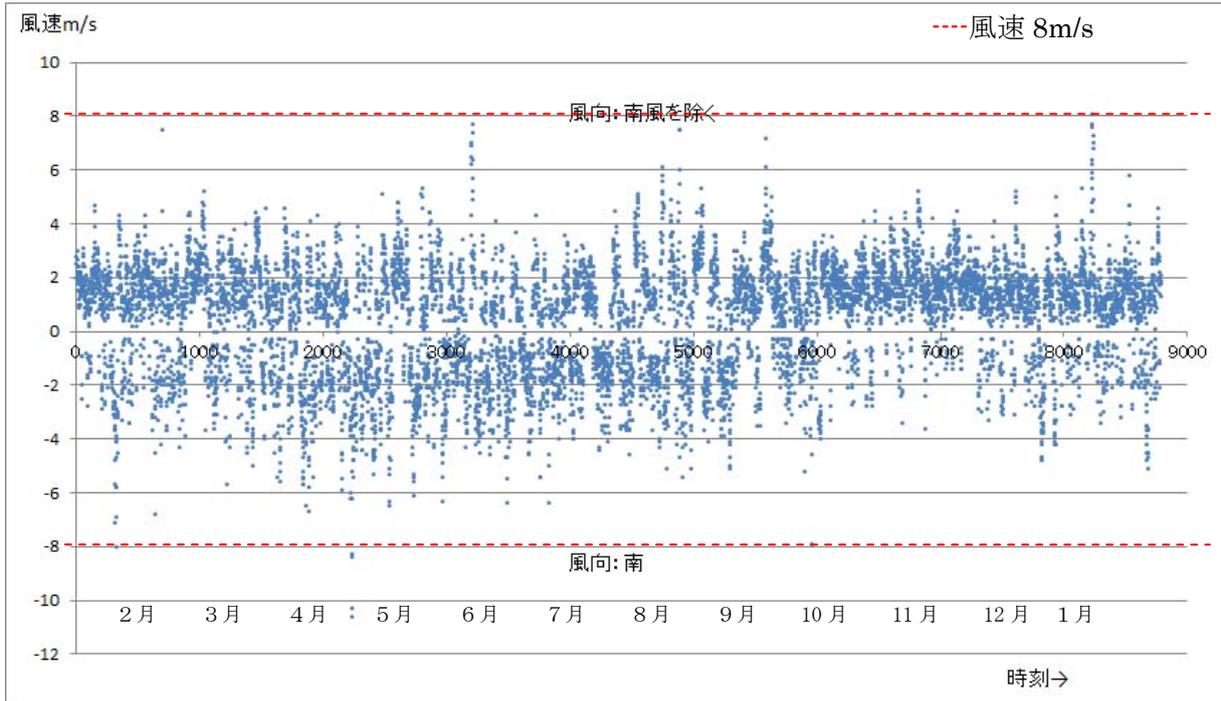
※平均値 + 2 $\sigma$  は、資料が標準正規分布に従う確率変数であると仮定すると、この範囲に入る確率が 95%となる (≒超過確率 5%)



▲ 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

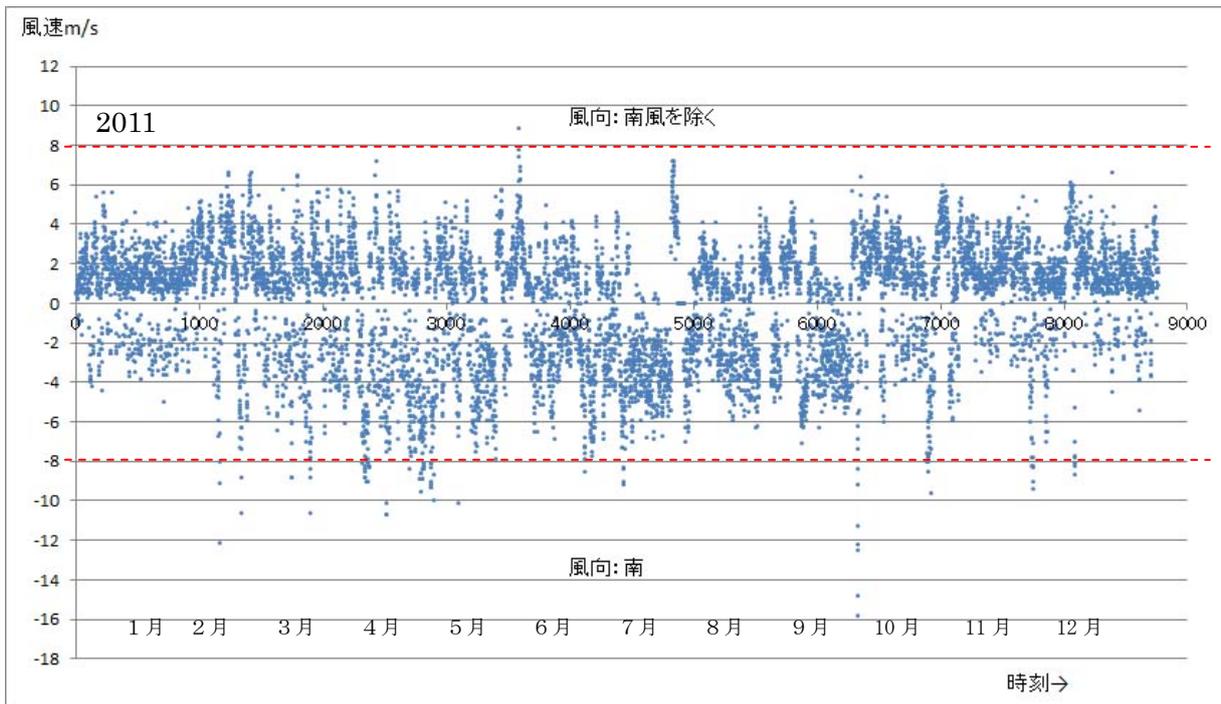


図 1.8 年間時刻平均風速 (その1)

※時刻平均風速：観測時刻の前10分間観測値の平均値

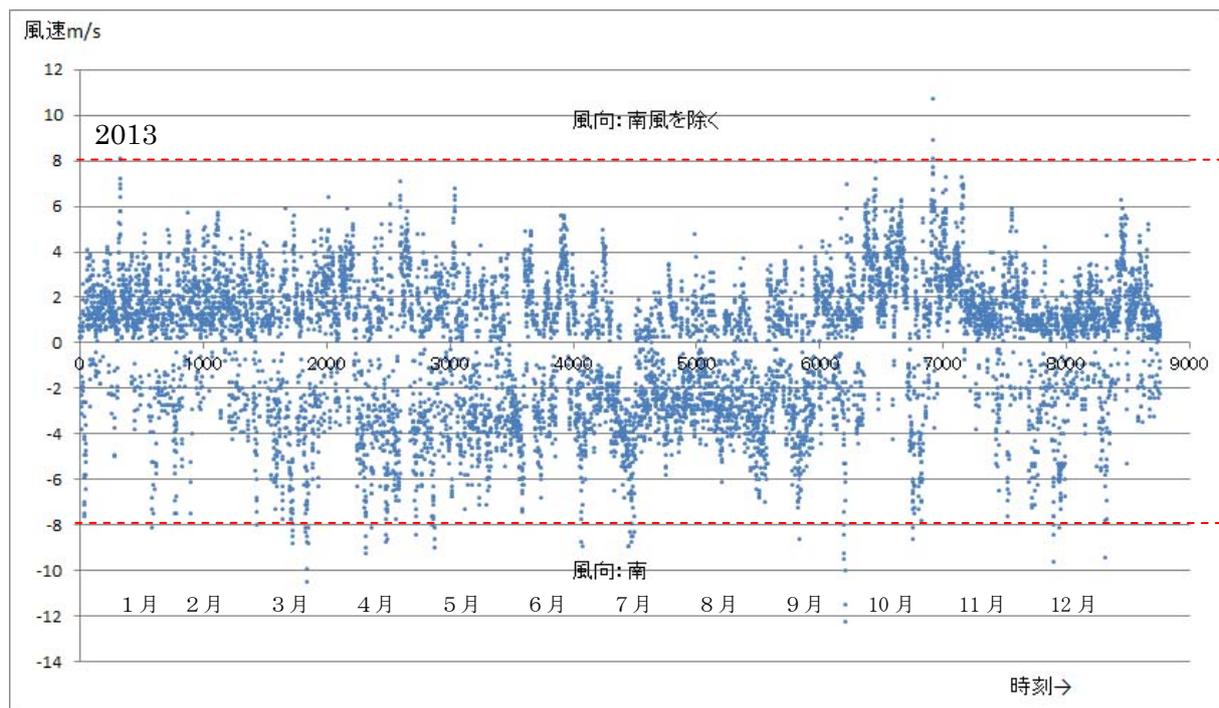
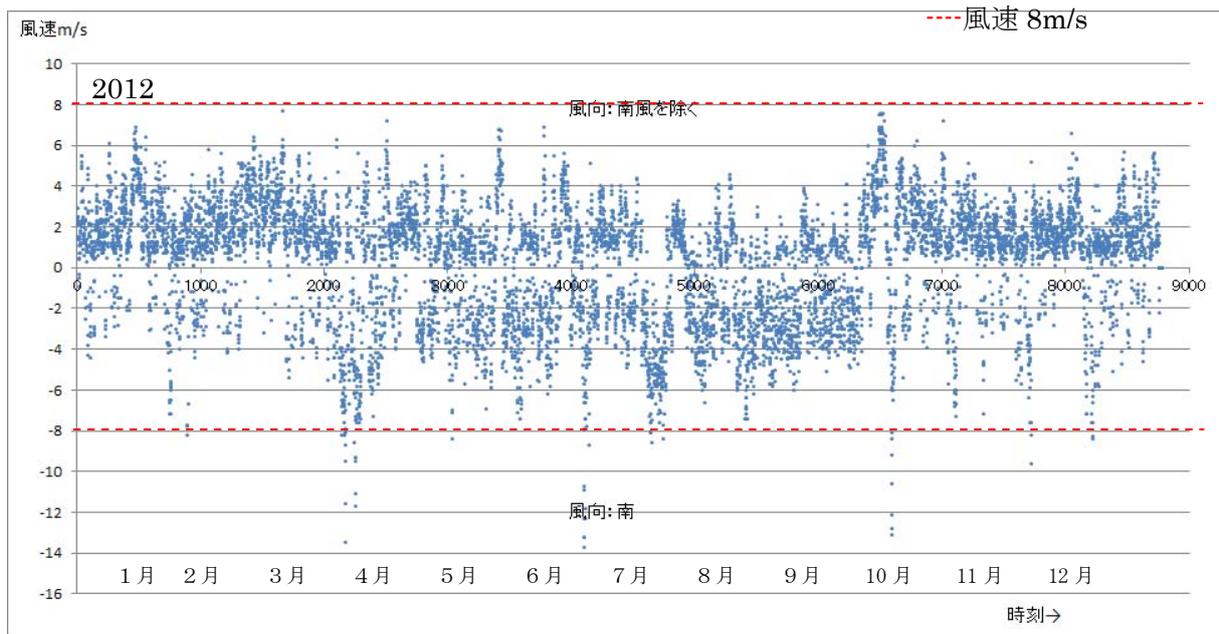


図 1.9 年間時刻平均風速 (その2)

※時刻平均風速：観測時刻の前 10 分間観測値の平均値

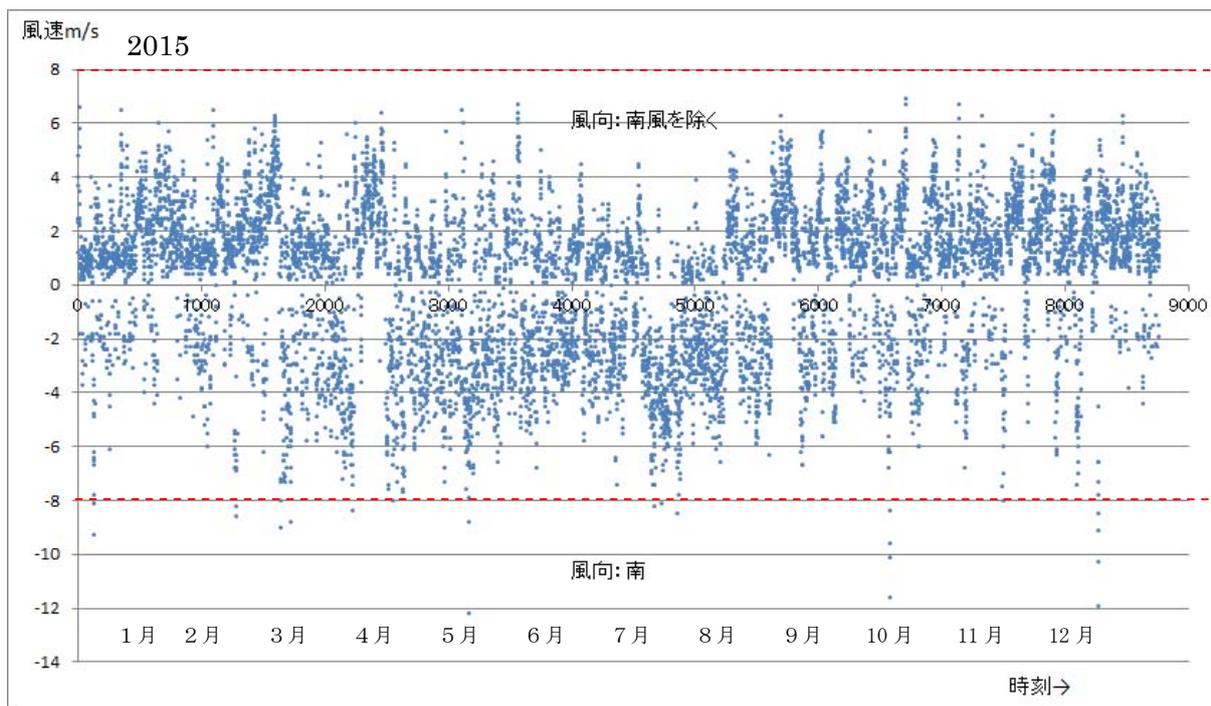
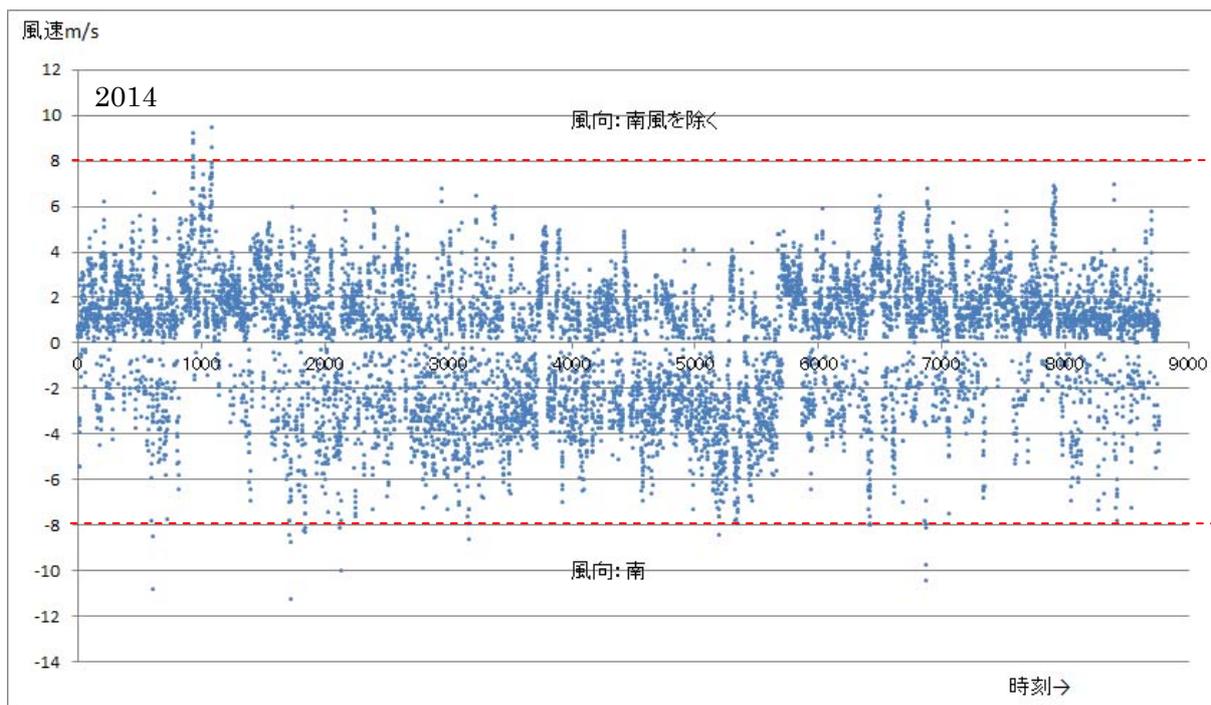
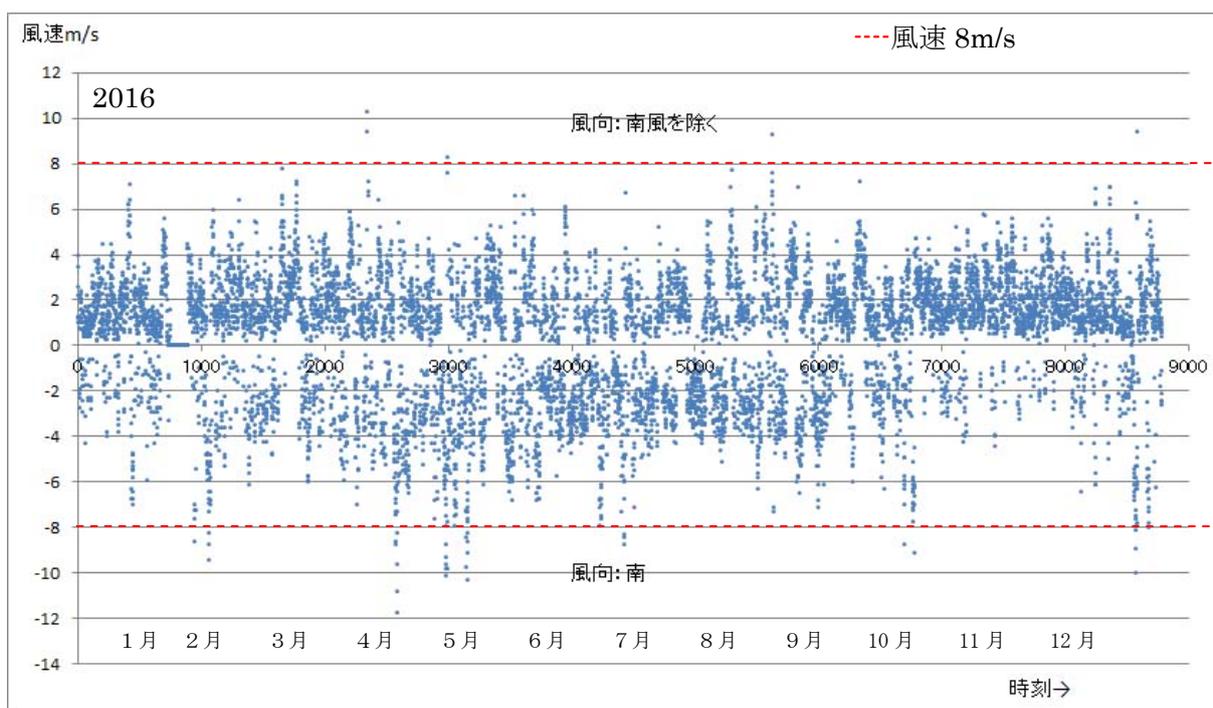


図 1.10 年間時刻平均風速 (その3)  
 ※時刻平均風速: 観測時刻の前10分間観測値の平均値



### 3 小和田出張所

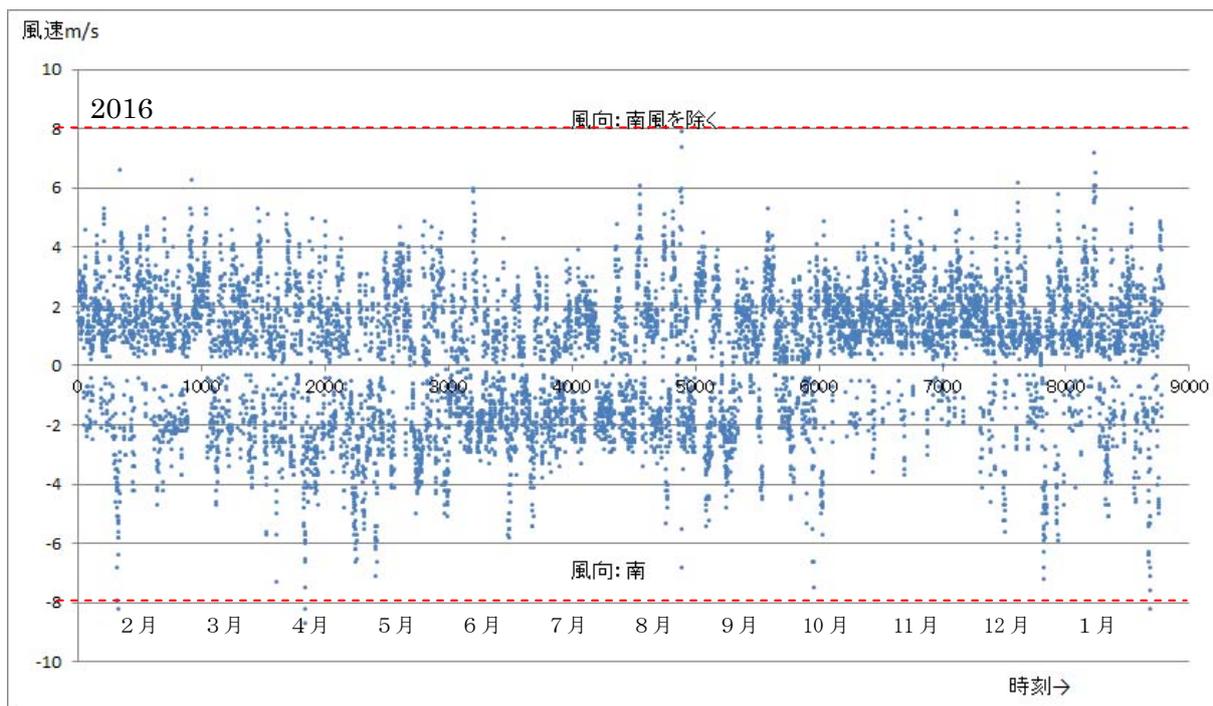
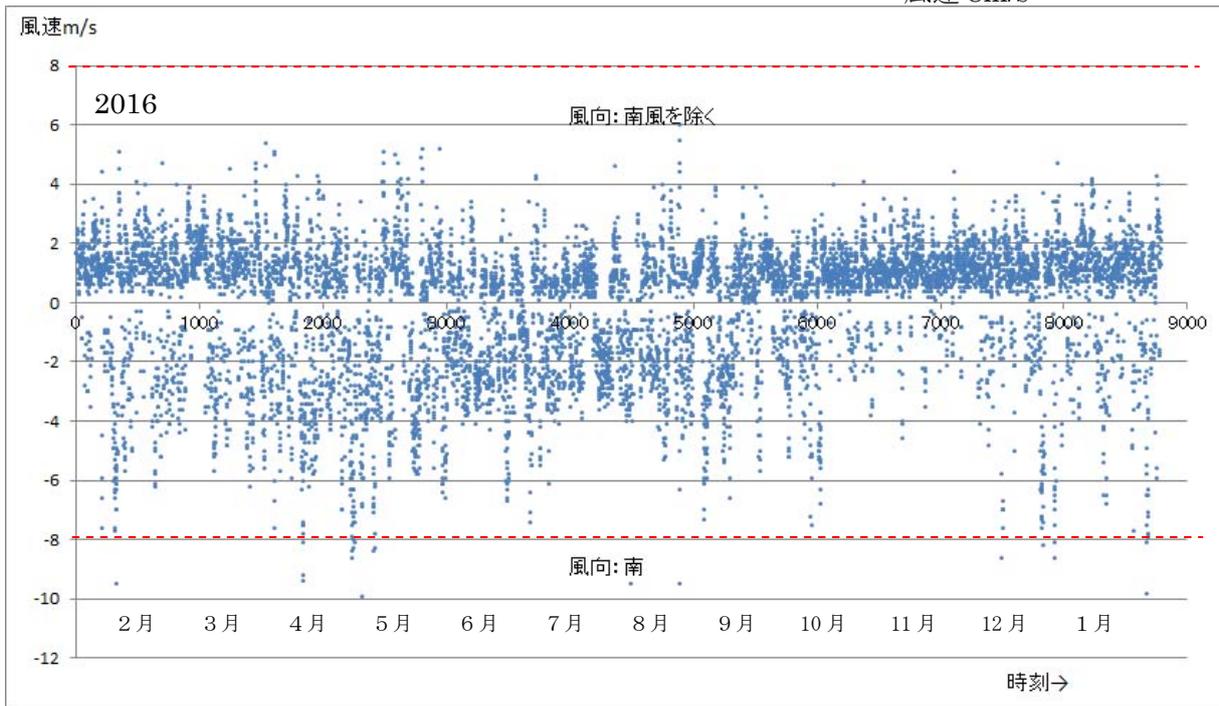


図 1.11 年間時刻平均風速（その 4）

※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

--- 風速 8m/s



5 鶴嶺出張所

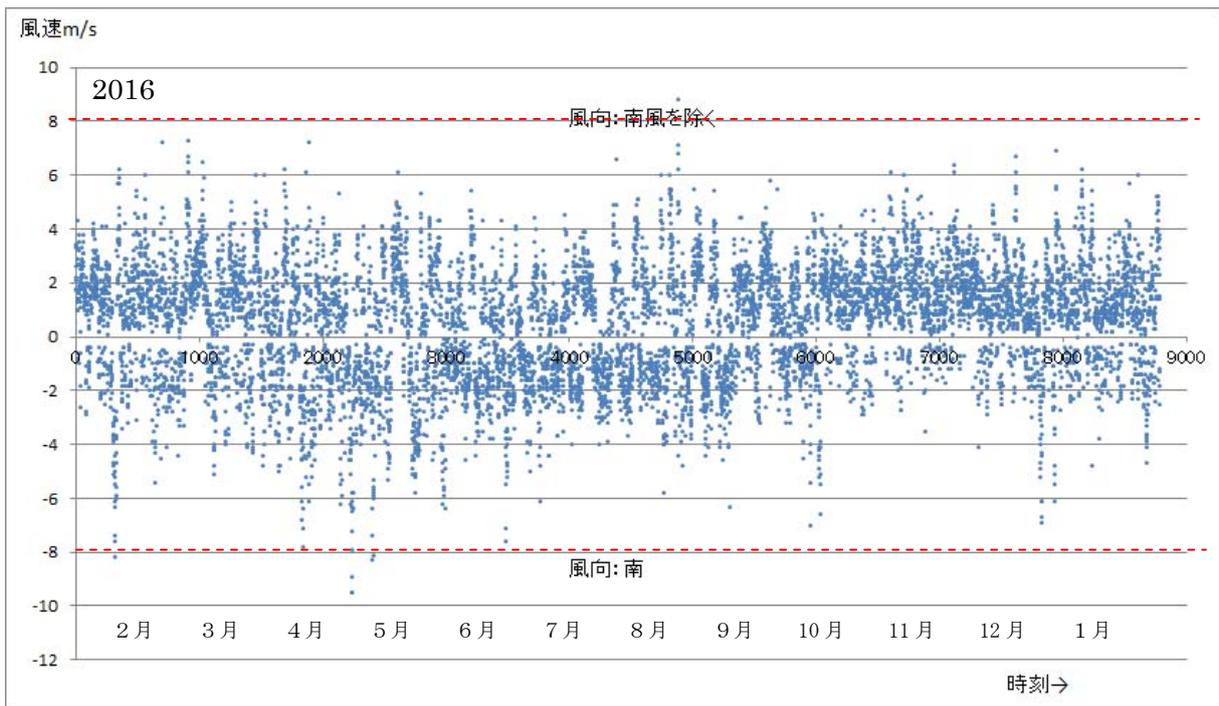
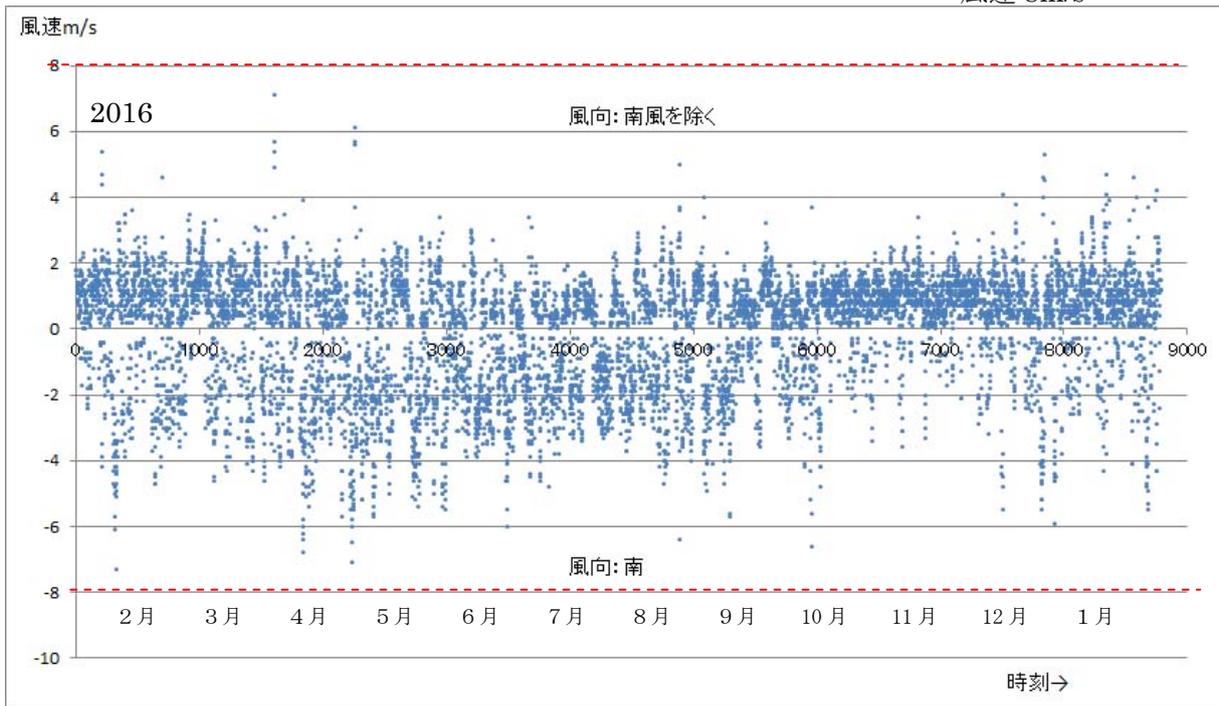


図 1.12 年間時刻平均風速 (その5)

※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

---風速 8m/s



7 海岸出張所

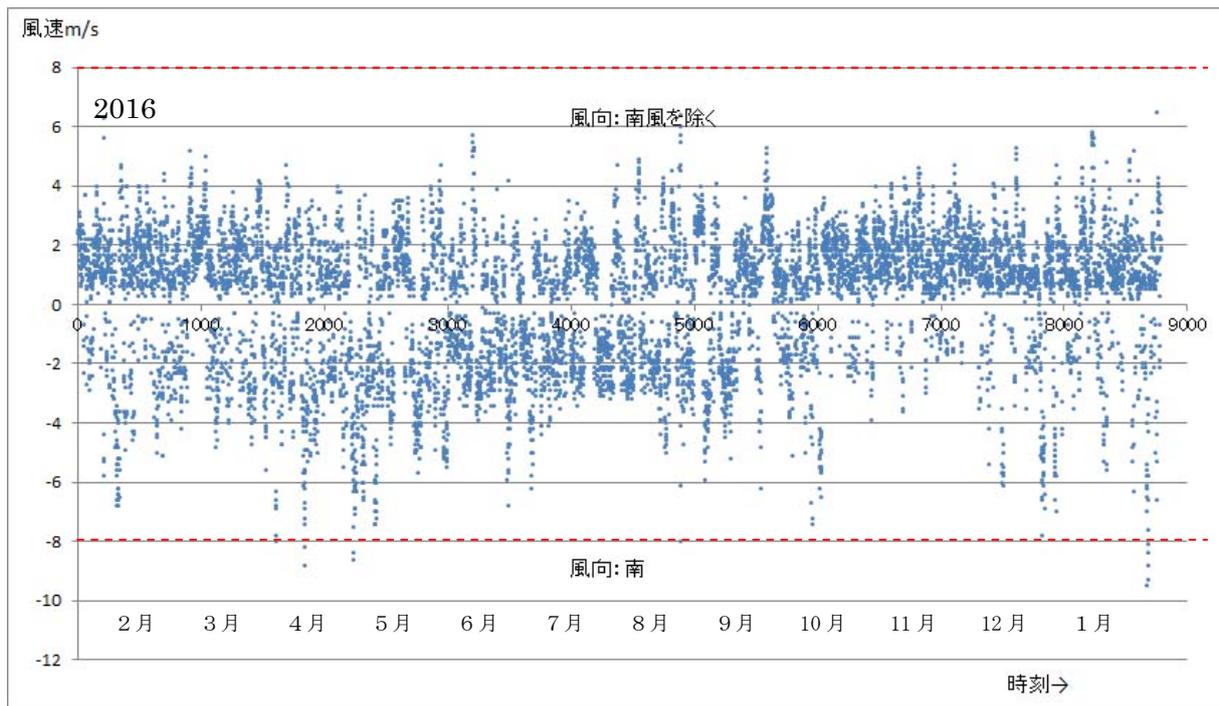
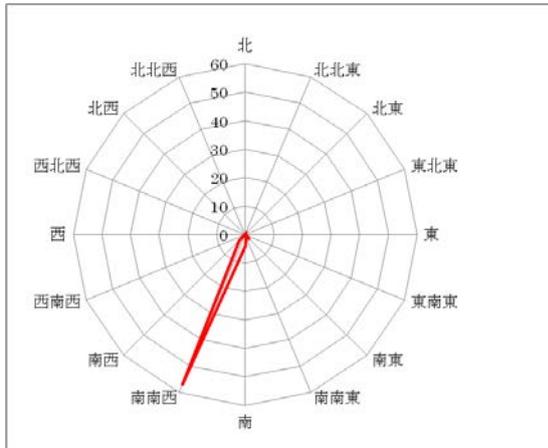


図 1.13 年間時刻平均風速（その6）

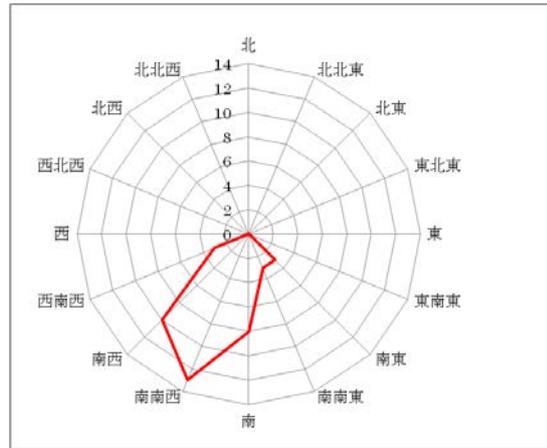
※時刻平均風速：観測時刻の前10分間観測値の平均値

5) 8m/s を超える強風時の風向分布 (茅ヶ崎市消防署)

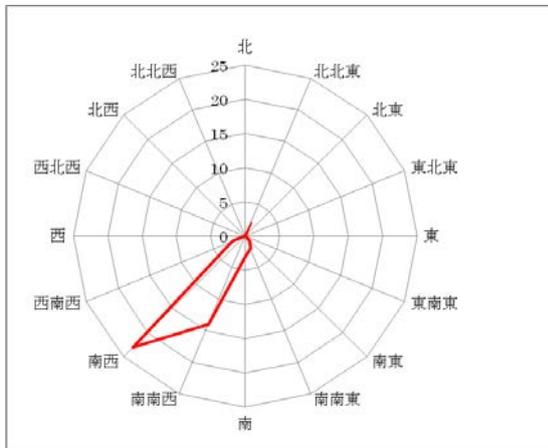
2011



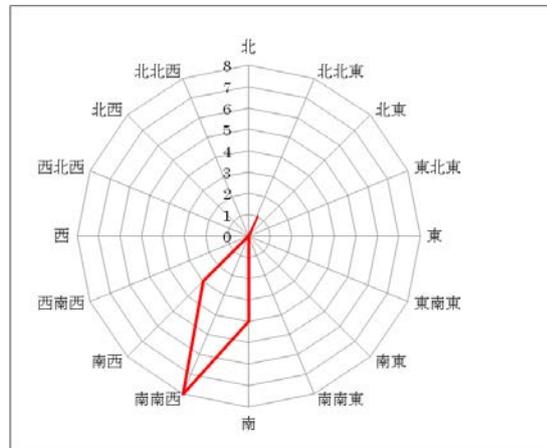
2012



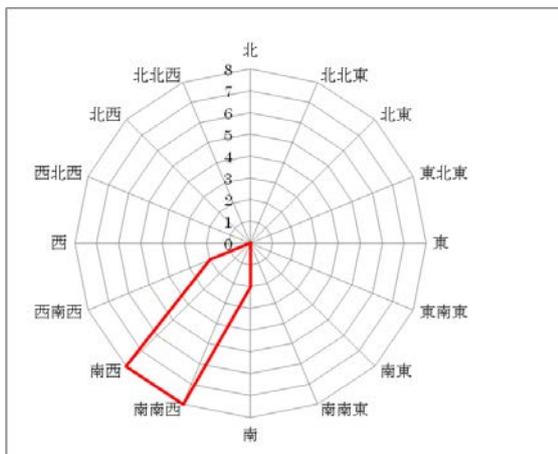
2013



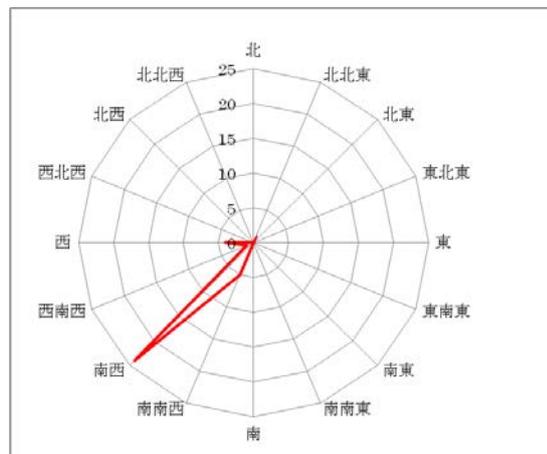
2014



2015



2016



### ③風速と必要前面距離

#### 1)浜田理論

浜田理論では、風速が強くなると、炎の主軸が傾き、炎長が延びる。この結果、許容輻射受熱(2050kcal/hm<sup>2</sup>)までの距離が大きくなる。

#### ○炎の傾き $\theta$

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

Uが大きくなると $\theta$ は、小さくなる。

#### ○炎長L

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

$\theta$ が小さくなると分母が小さくなり、Lが大きくなる。

U : 風速、n : 延焼速度比、D : 同時延焼奥行=104m、m : 建ぺい率、B : 風下火災正面幅=400m

表 1.4 U と L $\infty$  の関係

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

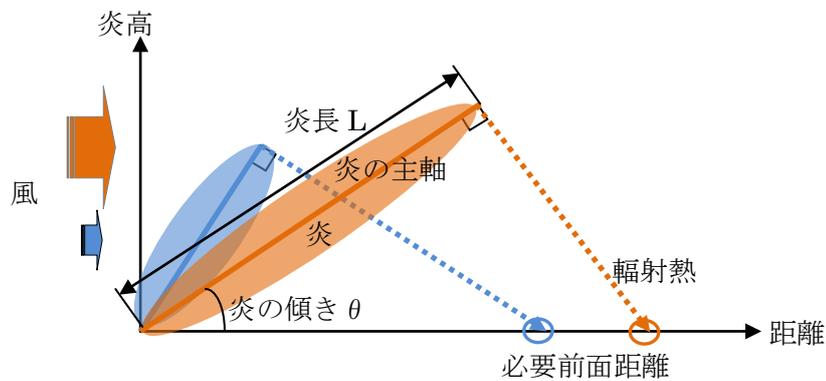


図 1.13 風速と必要前面距離の関係

表 1.5 風速と必要前面距離の試算 (浜田理論)

風速 m/s	必要前面距離 m
3.5	45
6.0	87
8.0	132
9.0	147
10.0	165
11.0	182
12.0	200

建物混成比 = 木造 : 防火木造 : 耐火造 = 2 : 8 : 0

市街地幅 = 400m

建ぺい率 = 40%

同時延焼奥行 = 104m

2)総プロ（建設省総合プロジェクト「都市防火対策手法」）の中で輻射熱の検討のために提案されている手法。

○炎の傾き  $\theta$

$$\theta = \sin^{-1}(2/U)^{0.2} \quad U: \text{風速}$$

○炎長L

風速によらず炎の長さは一定。

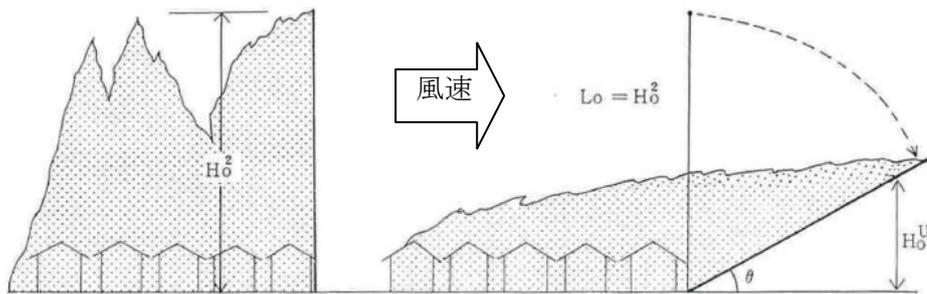


図 1.14 炎の傾き、炎長さとも風速の関係

3)簡便法（改訂 都市防災実務ハンドブック「震災に強い都市づくり・地区まちづくりの手引き（平成17年2月株式会社ぎょうせい）」の中で提案されている方法）

風速は、考慮されていない。

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

樹林内の常緑樹の割合を常緑率 g (%) とすると、

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

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。

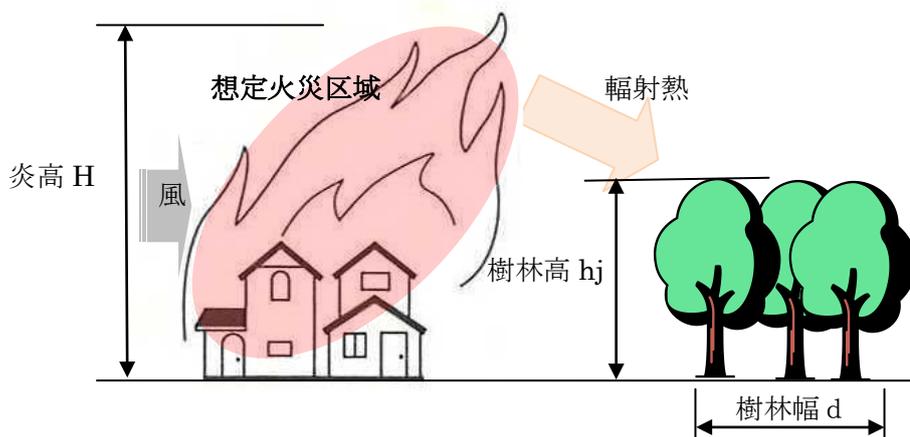


図 2.1 炎高と樹林

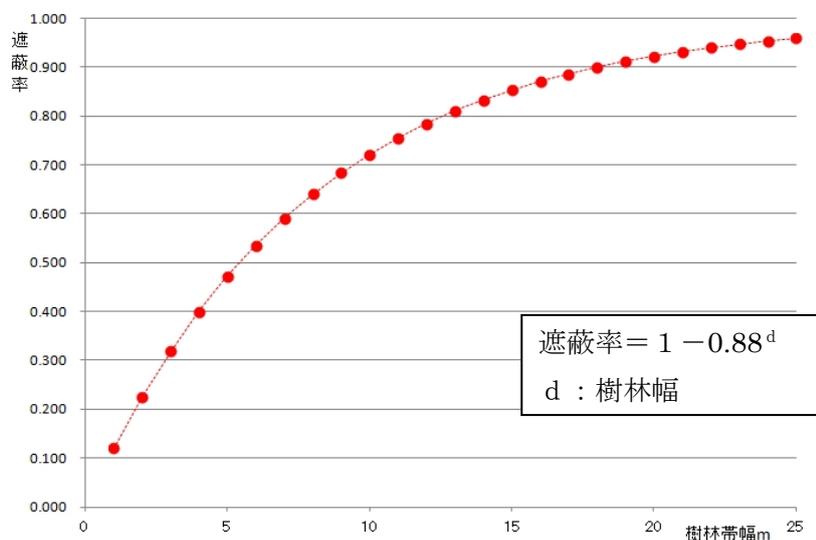


図2.2 樹林帯の幅と輻射熱遮蔽率の関係

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投射率と炎面の輻射熱から求めた輻射熱が 2050kcal/hm<sup>2</sup> 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)式のようなになる（赤点枠が加わる）。

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

許容輻射受熱  $R = 2050 \text{ Kcal/hm}^2$

輻射放射熱  $E = 39350 \text{ Kcal/hm}^2$

輝面率 = 0.5 としている

$\Phi$ : 形態係数（立体角投射率） $2050/39350=0.0521$

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

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

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

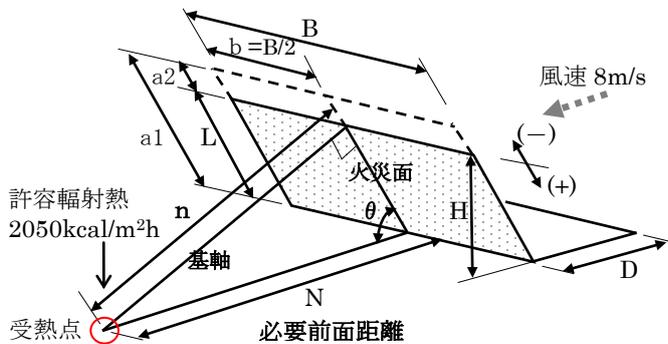


図 2.3 のような火災面に対する角関係  $\Phi$  を導く場合、立体角算出の基軸が火災面外の時と火災面内の時とで、 $a2$  の扱い方が変化する。基軸が火災面外の時は、 $a2$  の高さをもつ面の角関係は、 $a1$  の高さをもつ角関係に対して負に傾き、基軸が火災面内にある時  $a2$  の高さをもつ面の角関係は、 $a1$  の高さをもつ角関係の内部に含まれ、計算上は  $(L - a2)$  の高さをもつ角関係に  $a2$  の高さをもつ角関係が正に働くこととなる。

図 2.3 形態係数（立体角投射率）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 · sin θ（仮定値 N と θ より）
- L : 炎長    a1 : N · cos θ（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

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

○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

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

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 $\infty$  の関係

U(m/s)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
L $\infty$ (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

発火限界輻射受熱量	常緑広葉樹	落葉広葉樹	針葉樹	木材
Kcal/hm <sup>2</sup>	13,400	13,900	12,000	4,000
W/m <sup>2</sup>	15,584	16,166	13,956	4,652

※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、想定火災区域の正面幅=400m、奥行=104m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。

この計算は樹木の遮蔽効果の検討ではなく、火災地からの発火限界輻射受熱量までの距離を計算したものであるため樹木の高さは計算式には含まれていない。

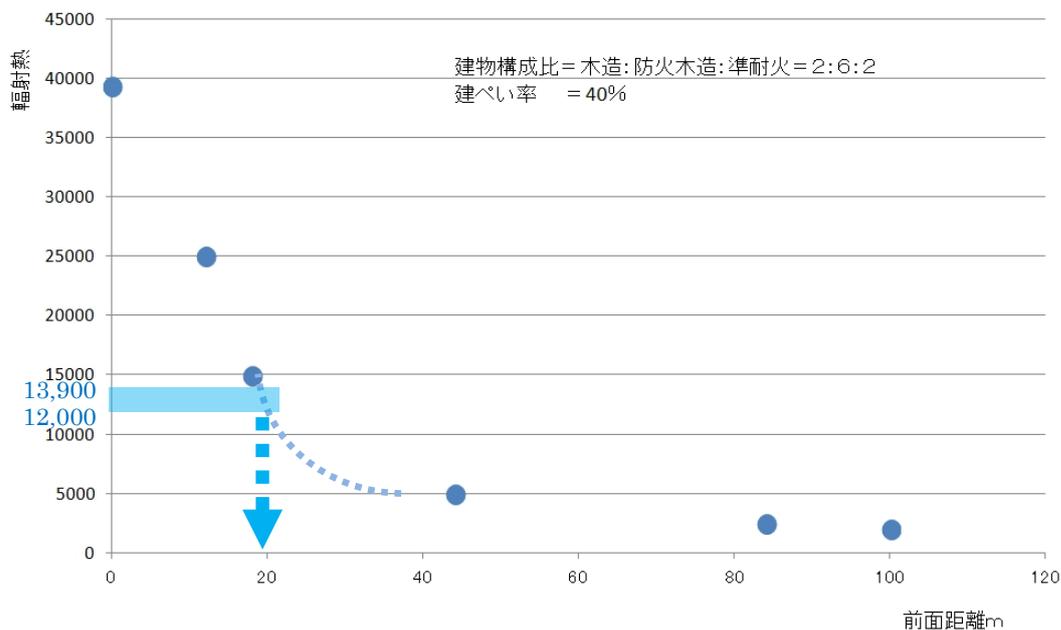


図2.4 輻射熱受熱量と前面距離の関係（浜田理論による結果）

#### 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、今回の安全性検証のための計算では含めていない。ただし、今後検討の必要性が生じた場合は、個別の詳細調査等により検証を行うこととする。

## 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、信頼性の高い規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

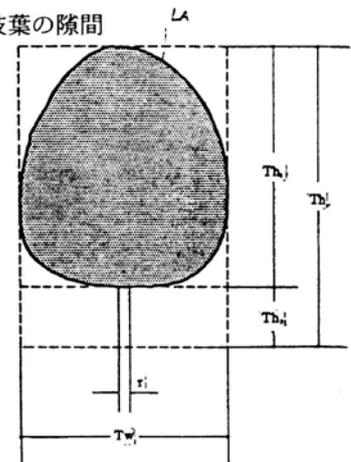


図-1 樹木の模式図

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      Th<sub>1</sub> 樹冠高さ  
 r 幹の径              Th<sub>2</sub> 枝下長さ  
                                  Tw 樹冠幅

同式を變形し

\* 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

$$\frac{r}{Tw} \ll 1 \text{ かつ } \frac{Th_2}{Th} < 1 \text{ よって } \frac{r}{Tw} \times \frac{Th_2}{Th} \approx 0 \text{ 従って}$$

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

(1)式の  $\frac{LA}{Th_1 \times Tw}$  は樹中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、 $\rho$  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、従っ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った。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  $T\phi$  は樹木の遮蔽率を示し、空隙率は  $1 - T\phi$  で求まる。

## 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

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

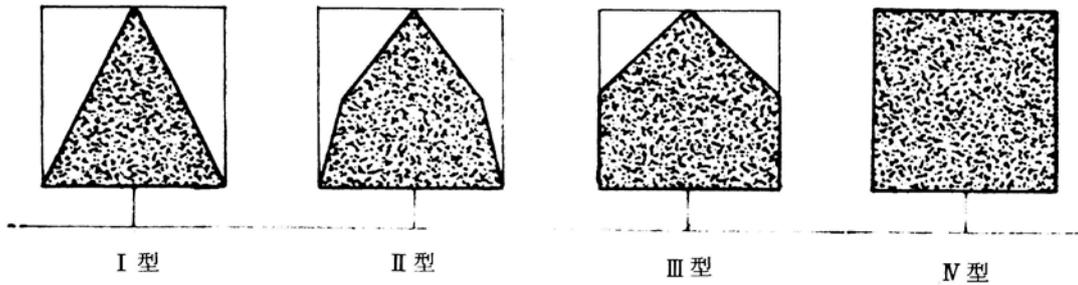


図-2 樹冠の類型

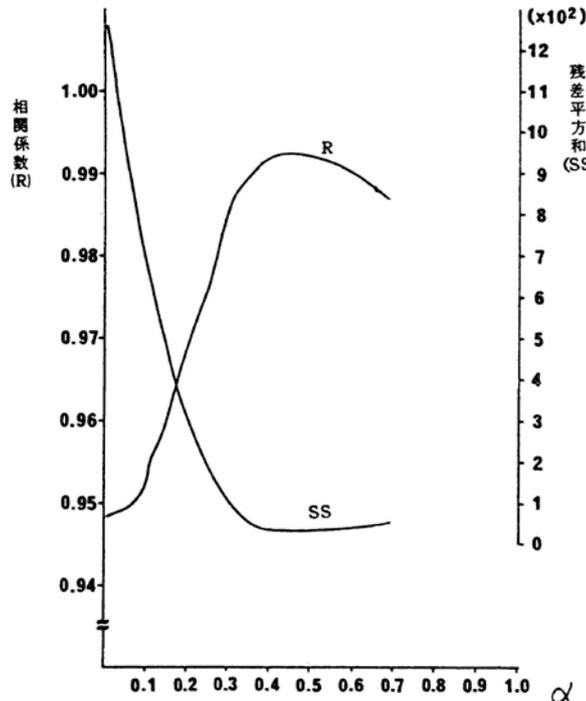


図-3 相関係数と残差平方和

Ⅲ型の面積 (PA<sub>3</sub>) 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  $PA_i = \frac{1}{4} w(2h_1 + (i-1)h_3)$

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

但し, h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>, h<sub>3</sub> 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。<sup>(1)</sup>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

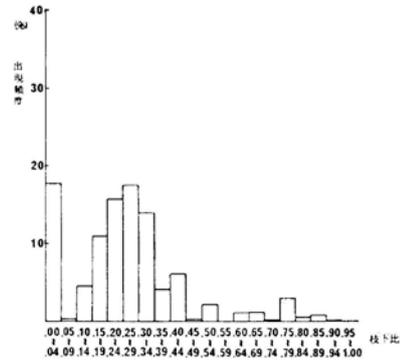


図-5 枝下比ランク別出現頻度

表-2 樹種別枝下比

樹種	平均値		
	Th	Th <sub>2</sub>	Th <sub>2</sub> /Th
アカギ	8.51	2.69	0.31
アオキ	7.89	5.88	0.74
アイヌ	6.00	2.00	0.36
イヌ	10.13	2.01	0.20
エノキ	8.99	3.24	0.36
エドヒヤ	6.45	1.58	0.25
カシ	3.38	0.19	0.03
クヌギ	8.58	2.08	0.25
クロマツ	9.40	3.70	0.37
クサギ	6.62	2.02	0.28
ケヤキ	10.50	3.35	0.31
コナラ	9.89	2.90	0.29
ササ	6.32	1.72	0.26
シラカバ	3.98	0.02	0.003
シロカバ	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
ダケ	6.34	1.52	0.25
トウヒ	10.00	3.14	0.31
トウヒ	5.65	1.62	0.29
トウヒ	7.63	1.57	0.19
トウヒ	8.69	2.17	0.24
ヒメ	8.24	3.78	0.44
ヒメ	11.90	2.60	0.22
ブナ	6.67	1.73	0.28
マツ	8.25	1.00	0.11
モチ	5.96	0.26	0.05
モチ	5.67	1.42	0.25
ユキ	12.12	3.38	0.27

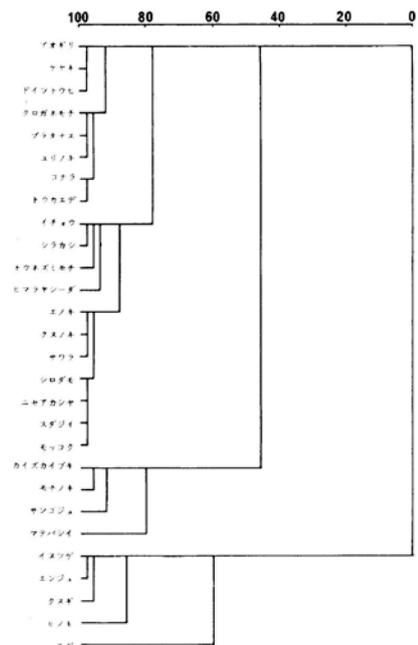
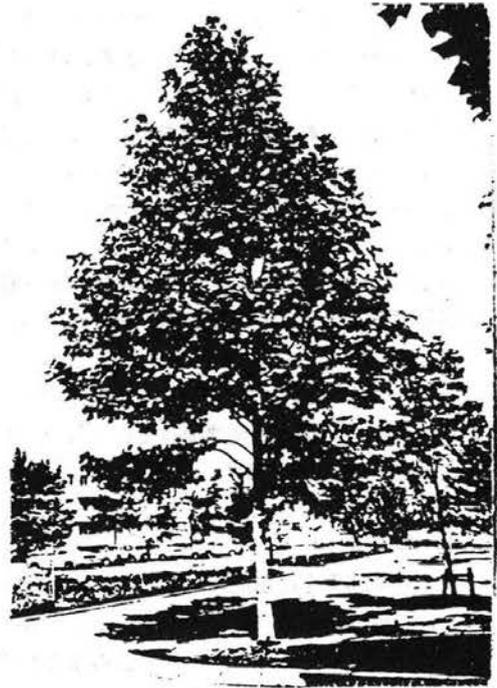


図-6 枝下比のクラスター分析

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 サンゴジュ



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<sup>(2)</sup>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 ョ ウ 1	1.6 7
” 2	7.4 7
エ ン ジ ュ	1 1.7 7
カイズカイクキ	1.9 7
キンモクセイ	2.8 8
ク ス	2.0 9
ク ヌ ギ	9.3 1
サ ワ ラ	5.1 0
サンゴジュ	5.1 4
シ ナ ノ キ	2.8 1
シ ラ カ シ	1.9 5
トウカエデ	5.0 0
ヒマラヤシーダ	2 2.3 1
モ ッ コ ク	6.7 8
ヤ マ モ モ	2.0 1
ユ リ ノ キ	4.9 8

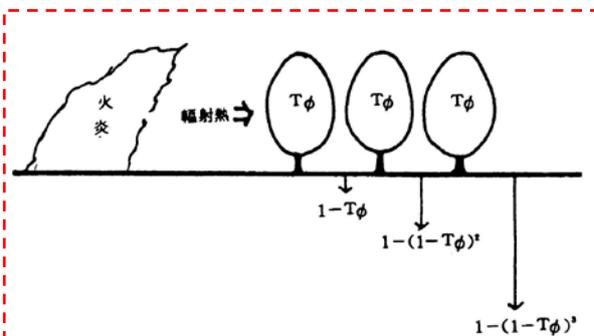


図-7 樹林帯の遮蔽率

### 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

$$\begin{aligned} 1列は \quad T\phi &= 0.7250 \times (1 - 0.0197) \times (1 - 0.02) \\ &= 0.6965 \end{aligned}$$

$$2列は \quad T\phi = 1 - (1 - 0.6965)^2 = 0.9079$$

$$3列は \quad T\phi = 1 - (1 - 0.6965)^3 = 0.9720$$

となり測定結果と概ね一致している。(図-8参照)

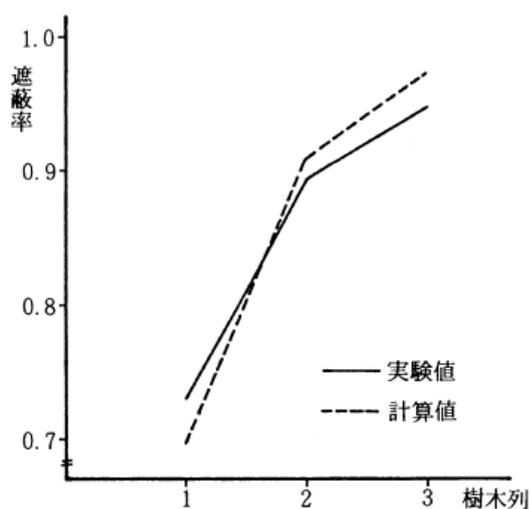


図-8 遮蔽率・実験値と計算値の比較

## 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）

避難場所の安全性の検討手法として開発された、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

延焼遮断帯効果算定法の研究などを目的として行われた建設省総合プロジェクト「都市防火対策手法」（以下「総プロ」）の中で輻射熱の検討のために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「震災に強い都市づくり・地区まちづくりの手引き（平成 17 年 2 月株式会社ぎょうせい）」の中で避難地の安全性検討のために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）

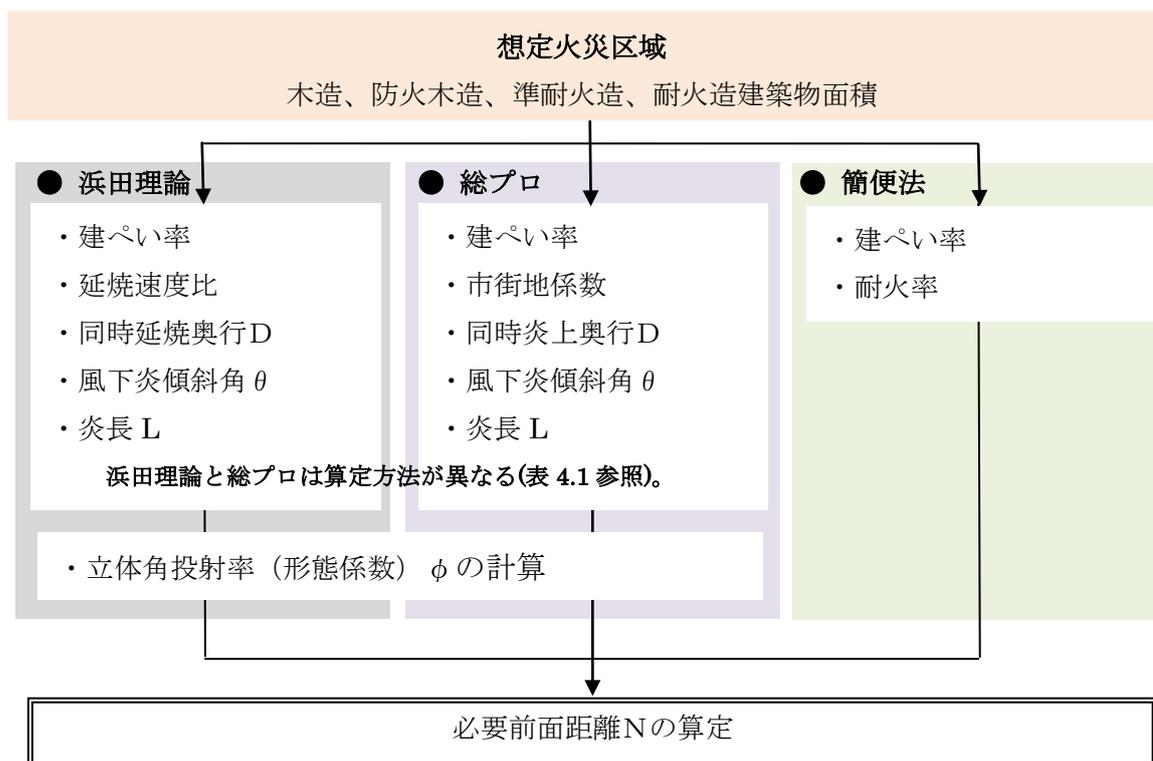


図 3.1 各手法の必要前面距離 N の算定フロー

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)  $\phi$  は以下の式で表される。

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

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

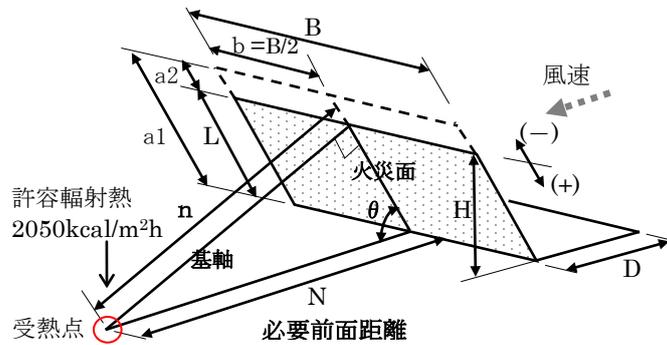


図 3.2 立体角投射率モデル

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  $\theta$ 」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	$D = \min\{50, 1179 \cdot \varphi^3 + 10\}$ $\varphi$ : 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 $\theta$	$\theta = \tan^{-1}(4 \cdot m \cdot n \cdot D / U^2)$ $U$ = 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 $L^\infty = 33\text{m}$	$L = H$ (炎高) $H = 4.7 \cdot \beta \cdot (D^3 / U)^{0.2}$ $\beta = 0.0133 \cdot (D - 10) \cdot (\varphi - 0.1) + 3.981 / D^{0.6}$

### 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)

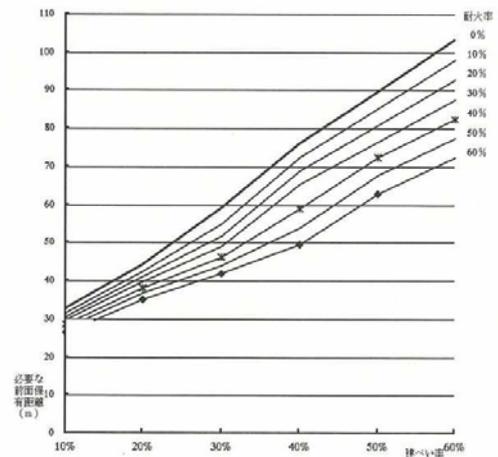


図 3.3 簡便法の建ぺい率と必要前面距離の関係

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：265,417m<sup>2</sup>）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。

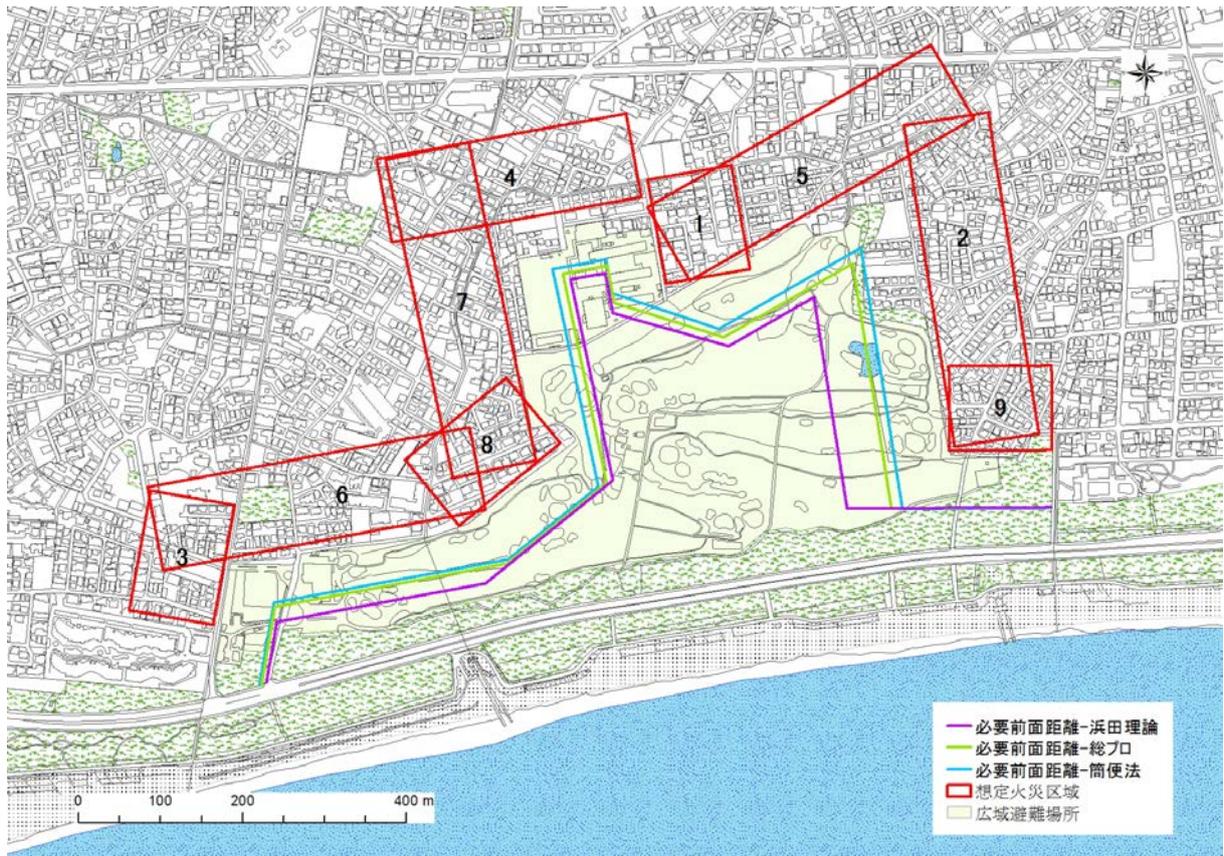


図 3.4 各手法の必要前面距離の比較

表 3.2 必要前面距離算出結果（想定火災区域の奥行=104m）

想定火災区域	正面幅 m	建物構成比 (%)				延焼速度比	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	0.871	35	72	68	68
2	400	34	64	2	0	0.862	40	142※	88	75
3	150	32	52	16	0	0.816	38	75	70	68
4	311	26	72	1	0	0.841	34	85	76	67
5	400	30	66	4	1	0.850	36	93	81	69
6	400	32	63	6	0	0.854	31	86	67	62
7	400	30	68	2	0	0.854	35	87	79	68
8	160	31	69	0	0	0.862	36	76	74	71
9	125	9	91	0	0	0.818	37	71	71	72

※想定火災区域 2 の浜田理論の値が大きい理由は、正面幅及び建ぺい率が他の想定火災区域に比べて大きいため。

## 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※1、耐火造を評価 ◎	耐火造だけ評価 ※2 ○	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) ○	炎長が一定 △	評価していない ×
安全性の評価 (表 3.2 より)	計画上は、最も安全側 ○	△	△
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)	◎	○	○

※1 平成 17 年度東京都「避難場所安全性等調査研究委員会」の検討結果により、計算式の中で考慮可能となった。

※2 総プロの元式には、建物構造は耐火造だけが考慮されているが、改良を行う事で木造などを考慮することが可能となる。

#### 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	個々の状況を勘案して利用可能率を設定する。	—
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※ <sup>1</sup> において 50%とする。	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※ <sup>2</sup> などから 50%とした。	
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。	100
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。	

※<sup>1</sup>：落下物対策の範囲（建物からの水平距離）は、落下物曲線から求める。

落下物曲線は、「大規模建築物群の防災対策に資する大規模建築物の技術基準の検討」（財団法人日本建築協会）を参考とした。

落下物曲線による落下物の水平距離は、

$$\text{水平距離(m)} = \sqrt{\text{建物の高さ} \div 2}$$

として求められる。

・ 建物の高さ = 平均建物階数 × 3m / 階 = 4.5 × 3 = 13.5m

・広域避難場所内の平均建物階数=4.5階(茅ヶ崎市都市計画基礎調査データから求めた)

・3m/階：建物1階の高さ

とすると、水平距離は

$$\text{水平距離(m)} = \sqrt{\text{建物の高さ} \div 2} = \sqrt{13.5} \div 2 = 1.8\text{m} \div 2.0\text{m}$$

となる。

※<sup>2</sup>：改訂 都市防災実務ハンドブック「震災に強い都市づくり・地区まちづくりの手引き（平成17年2月株式会社ぎょうせい）」より

(2) 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。なお、安全性の判定に際しては他災害の影響を考慮していない。

表1 安全性の判定

安全面積と準安全面積	安全性の判定
安全面積のみで1万㎡以上を確保している	◎
安全面積と準安全面積の合計で1万㎡以上を確保しており、かつ安全面積が準安全面積を上回っている	○
安全面積と準安全面積の合計で1万㎡以上を確保しており、かつ準安全面積が安全面積を上回っている	△
安全面積、準安全面積の単独又は合計が1万㎡未満である	×

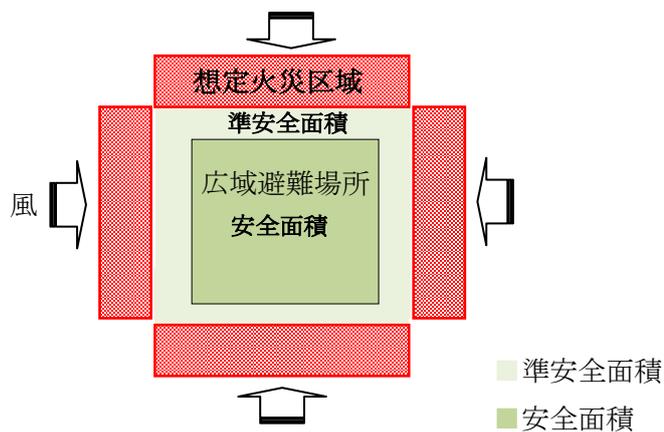
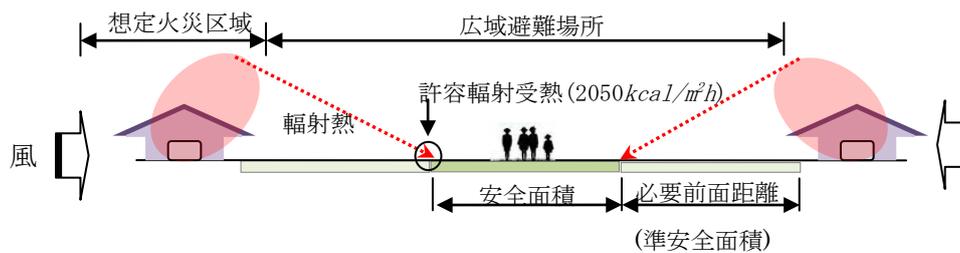


図1 安全面積と準安全面積

## ②安全性の判定結果

現行広域避難場所及び公有地における安全性の判定結果を図2にまとめた。

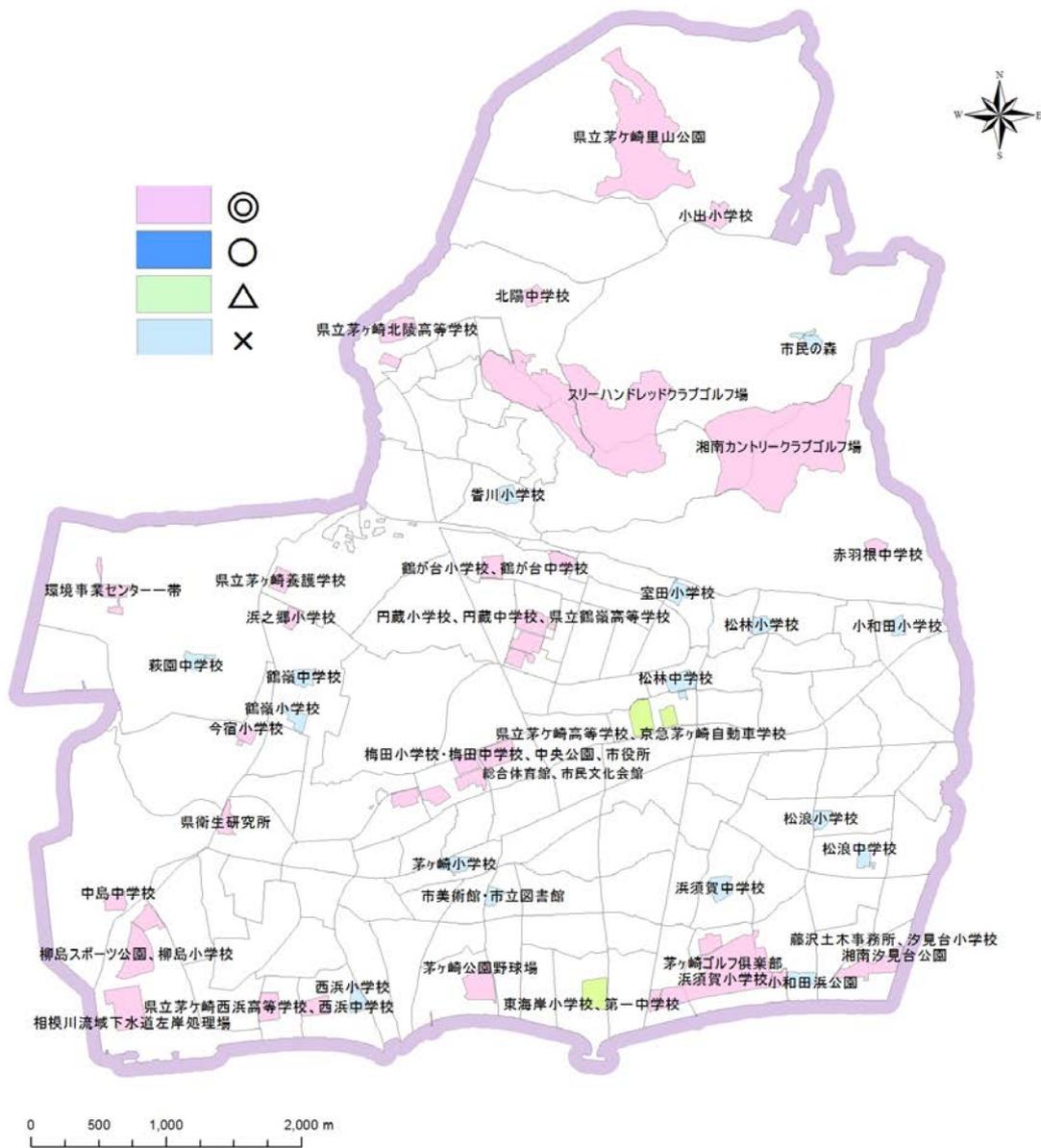


図2 現行広域避難場所及び公有地の安全性の判定結果