

平成 25 年度環境省委託業務

平成 25 年度
九州・沖縄地方における風況変動データ作成事業
成果報告書

平成 26 年 3 月

伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

平成 25 年度九州・沖縄地方における風況変動データ作成事業

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震を受け、我が国では地球温暖化対策・エネルギー政策の両面から、再生可能エネルギーの導入を一層加速することが求められている。本業務では、九州・沖縄地方における風力発電の導入加速のために、「平成 23 年度東北地方における風況変動データベース作成事業」及び「平成 24 年度北海道地方における風況変動データ作成事業」（以降、併せて「過年度事業」という）の成果との整合性を確保し、当該地域において風力発電事業の実施を検討している事業者が利用可能な風況変動リスク及び風向の変動特性を評価するデータベースを作成・公開することで、風力発電事業の事業性評価及び風車配置の検討に資することを目的とした。

(1) 九州・沖縄地方の過去 20 年の詳細な風況データの作成

風力発電事業は一般的に約 15～20 年程度の期間を一つの基準として事業を実施しているが、長期の風況変動を把握することは、風力発電事業の事業性を評価する上で重要な要素の一つである。

現在、長期の風況変動を評価するために必要な長期の風況観測データは、気象官署等によって継続的に計測がおこなわれている。しかし、これらは観測箇所の数が十分でない上に、設置場所や観測機器の変更がおこなわれることが多いため、風力発電事業を評価するために必要な、長期間に渡る風況変動を把握することが難しいことが現状である。

このように、長期の風況変動データが不足している状況は、風力発電事業者やレンダーにとって、風力発電事業の事業性を判断する上での大きなリスク要因の一つとなっている。

このような課題に取り組むために、本事業では気象シミュレーション技術を活用することで、九州・沖縄地方における過去 20 年の詳細な風況データの作成を実施した。気象シミュレーション技術を使用すれば、過去 20 年の風況を空間的に広範囲にわたって把握することが可能となる。気象シミュレーションの実施にあたっては、伊藤忠テクノソリューションズ株式会社（以後、CTC）が東北電力(株)と共同で取得した特許技術（特許 3226031 号）に基づいた技術を適用し、九州・沖縄地方の過去 20 年の風況を詳細な時間解像度（1 時間）および空間解像度（500m）で作成した。気象シミュレーションには CTC が独自開発した局地気象モデル LOCALS™ を使用し、図 1 に示すように段階的に計算領域を狭めながら計算格子を詳細化した。計算領域は九州・沖縄電力供給管内を対象とし、計算期間は 1991 年～2010 年の 20 年間とした。

また、計算機のパフォーマンスを可能な限り引き出す負荷分散技術を駆使することで、高解像度な気象シミュレーションを高速に実行した。

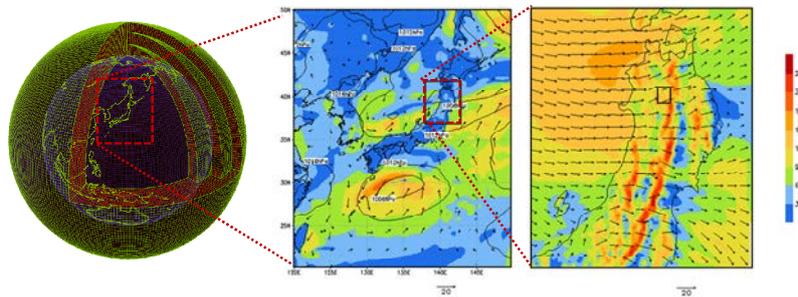


図 1 気象シミュレーション技術の概念図

(2) 風況変動データの作成

風力発電事業を事業者やレンダーが評価する際は、期待できる年間総発電量を推定することで、ある年の年間総発電量が想定よりも低い場合でも事業が継続可能なように年間総発電量を見積っている。したがって、年間総発電量の変動リスクを適切に評価するためには、年平均風速の変動を把握する必要がある。

年平均風速の変動を把握するために、気象シミュレーションで得られた九州・沖縄地方の過去 20 年の詳細な時間解像度（1 時間）および空間解像度（500m）で作成した風況データを基にして、過去 20 年の年平均風速を算出した。次に、算出した過去 20 年の年平均風速に基づき、風況の変動幅・長期トレンドの解析を実施した。なお、解析は 2MW 級の風車の標準的なハブ高さである地上高 80m における風速に基づき評価を実施した。

風況の変動幅については標準偏差の指標で評価した。現在、国際的に用いられている風力発電事業のリスク評価は、個別のリスク要因（年変動、シミュレーション誤差等）について変動が正規分布していると仮定し、個別のリスク要因の標準偏差を重ね合わせることで風力発電事業全体のリスクを評価している。本事業では、年平均風速のシミュレーション誤差によって発生する風況変動リスクも加味し、風況の変動幅に関する分析を実施した。

また、九州・沖縄地方における風向の特性を把握するために、20 年間の詳細な風況データに対し、風向（16 方位）別に風速出現頻度（風速階級別および全風速）と平均風速を集計し、風速階級別の風速出現頻度については風配図による可視化を行った。さらに、公開用データにおいてメッシュ内に矢印として表示するため、5.5m/s 以上の風速域についての最頻風向の集計も行った。

本風況変動データの分析結果は、表 1 に示す仕様で集約した。また、データベース作成によって得られた、九州・沖縄地方における過去 20 年の平均風速および標準偏差を図 2～図 5 に示す。本事業では、上記のデータベースを整備することで、九州・沖縄地方における過去 20 年の平均風速および風況変動リスクを明らかにした。さらに、20 年間の詳細な風況データに対する風向（16 方位）別の風速出現頻度と平均風速、および最頻風向について、集計結果と風配図を表 2 と図 6 に示す。

表 1 九州・沖縄地方における風況変動データの仕様

データベース要素	内容
20年間の年平均風速	20年間の年平均風速の平均値[m/s] (シミュレーション誤差を加味せず)
年平均風速の標準偏差	20年間の年平均風速の標準偏差[%] (シミュレーション誤差を加味)
年平均風速の最大値	20年間の年平均風速の最大値[m/s] (シミュレーション誤差を加味せず)
年平均風速の最小値	20年間の年平均風速の最小値[m/s] (シミュレーション誤差を加味せず)
風向(16方位)別の風速出現頻度	20年間の風向(16方位)別の風速出現頻度

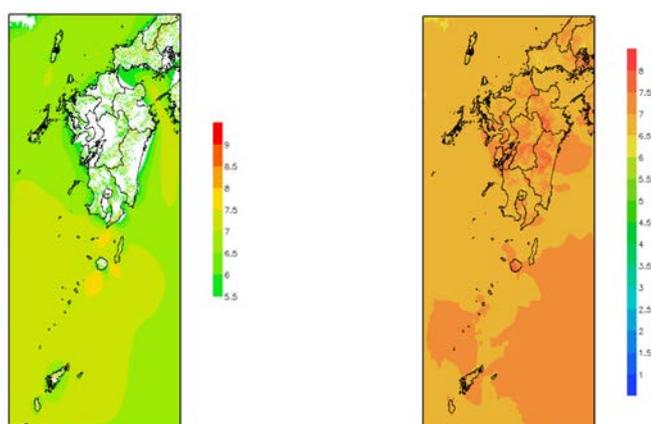


図 2 九州地方における過去 20 年の平均風速[m/s] (左図) および標準偏差[%] (右図)

地上高 80m における過去 20 年の年平均風速に基づき算出した。

標準偏差はシミュレーション誤差を加味。

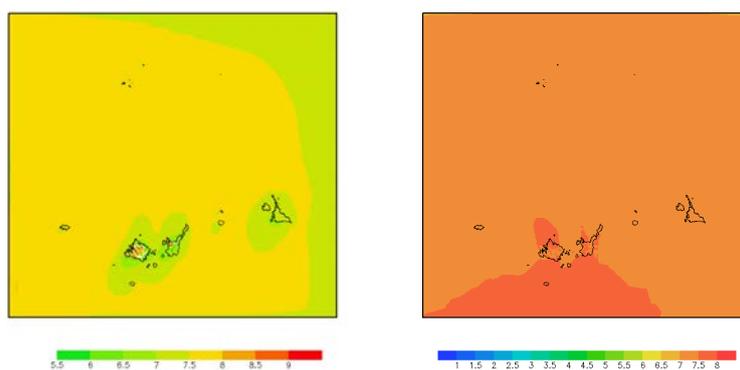


図 3 沖縄地方(先島諸島)における過去 20 年の平均風速[m/s] (左図) および標準偏差[%] (右図)

地上高 80m における過去 20 年の年平均風速に基づき算出した。

標準偏差はシミュレーション誤差を加味。

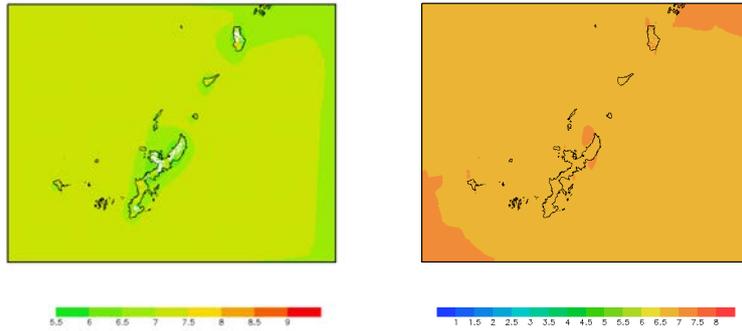


図 4 沖縄地方（本島週辺）における過去 20 年の平均風速[m/s]（左図）および標準偏差[%]（右図）
 地上高 80m における過去 20 年の年平均風速に基づき算出した。
 標準偏差はシミュレーション誤差を加味。

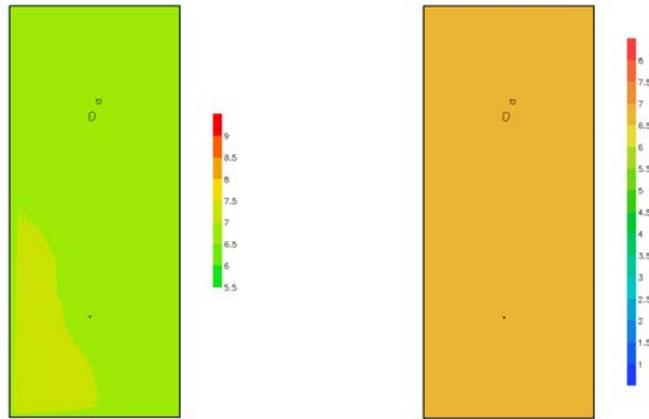


図 5 沖縄地方（南大東島周辺）における過去 20 年の平均風速[m/s]（左図）および標準偏差[%]（右図）
 地上高 80m における過去 20 年の年平均風速に基づき算出した。
 標準偏差はシミュレーション誤差を加味。

表 2 風向（16 方位）別の風速出現頻度と平均風速、および最頻風向の例

	最頻風向 北西						全風速	風向別 平均風速
	0.3[m/s] ~ 4.0[m/s]	4.0[m/s] ~ 6.0[m/s]	6.0[m/s] ~ 9.0[m/s]	9.0[m/s] ~ 12.0[m/s]	12.0[m/s] ~ 15.0[m/s]	15.0[m/s] ~		
北北東	1.22	0.61	0.34	0.16	0.11	0.06	2.5	5.06
北東	1.4	1.59	2.78	1.79	0.54	0.14	8.24	7.33
東北東	1.71	2.98	4.5	1.43	0.24	0.07	10.93	6.58
東	1.77	2.69	2.53	0.63	0.13	0.04	7.79	5.86
東南東	1.61	1.9	1.92	0.46	0.15	0.07	6.11	5.87
東南	1.33	1.25	1.21	0.4	0.09	0.05	4.33	5.72
南南東	1.03	0.78	0.81	0.31	0.1	0.05	3.08	5.81
南	0.87	0.59	0.83	0.44	0.18	0.08	2.99	6.58
南南西	1.11	0.98	1.43	0.96	0.33	0.18	4.99	7.14
南西	1.63	1.33	0.88	0.33	0.09	0.03	4.29	5.21
西南西	2.56	1.53	1.02	0.72	0.2	0.06	6.09	5.47
西	2.73	2.2	1.96	0.7	0.17	0.04	7.81	5.51
西北西	2.24	2.66	4.07	2.38	0.84	0.29	12.47	7.21
北西	1.64	1.66	4.02	3.95	2.26	0.48	14.01	8.7
北北西	1.35	0.64	0.5	0.13	0.02	0	2.65	4.46
北	1.2	0.38	0.12	0.02	0	0	1.72	3.38

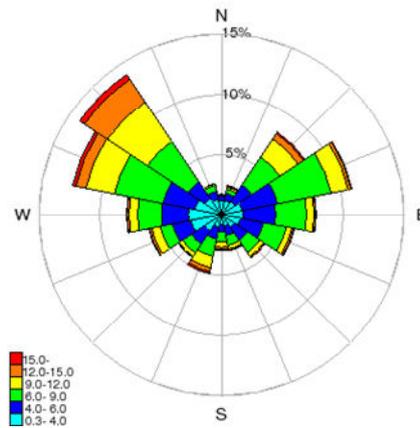


図 6 風配図の例

(3) 公開用データの作成

風況変動データベースの各データは位置情報を持っているため、地図情報と関連付けて表示することが可能である。地図情報との関連付けは、一般に公開されているフリーソフトウェアを利用することを前提として、任意の KML 表示ソフトウェアで閲覧できる形式とした。また、地図と関連付けた風況変動データは、過年度事業で整備された風況変動データベース公開システムを元に、背景地図に国土地理院地図を利用したダウンロード機能を付与した形式で公開できるよう整備した。なお、過年度事業で整備された風況変動データベースに関しても、同時に閲覧できるよう整備をおこなった。

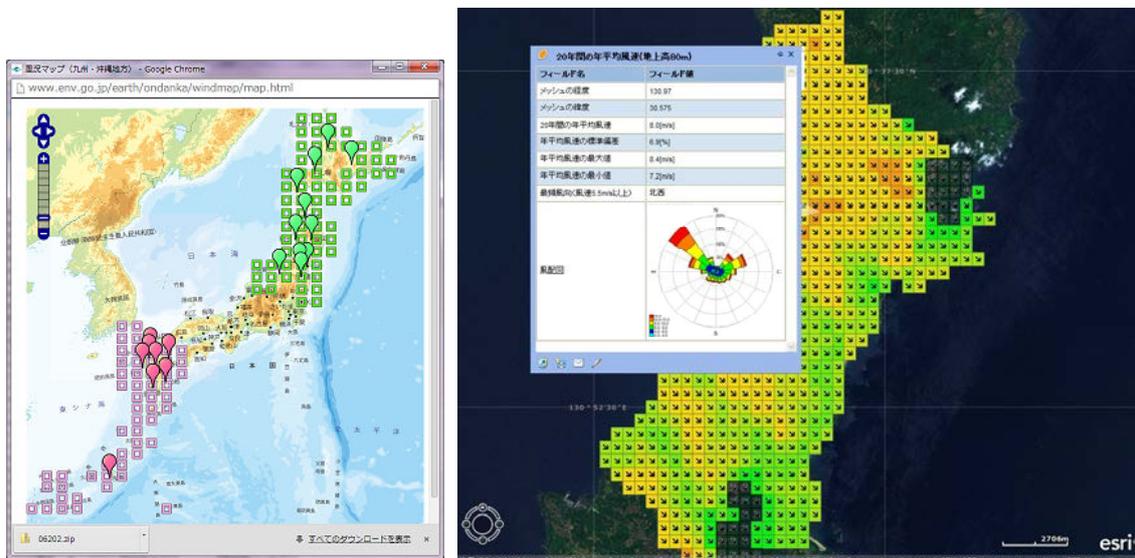


図 7 風況変動データ公開イメージ

Annual Wind Variability Database in Kyushu and Okinawa District

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake has necessitated our nation to implement the use of renewable energy from both global warming and energy policy perspectives. In this context, this work aims to develop and make available a database containing assessments of wind variation risks within the Kyushu and Okinawa area, which is consistent with the previously built Tohoku-district and Hokkaido-district database. This database is intended to aid those considering wind power generation in the area. This report describes the work concerning creation of the database and discusses the assessment results obtained.

(1) Creation of detailed wind state data of the Kyushu and Okinawa district over the past 20 years

Understanding of long-term annual wind variation is an important factor in wind power generation business because 15-20 year time span is usually considered for carrying on this type of business. Although meteorological stations across the country continuously record observation data necessary to carry out such long-term wind variation assessments, there exist problems. First, the number of these meteorological stations is far from sufficient. Furthermore, various changes are made in, for example locations of the offices and observation apparatus, which make understanding of long-term annual wind trends difficult. Therefore, essential long-term annual wind data is still lacking and is posing the industry a great risk in judging startup and continuance of wind power generation business.

In order to overcome such difficulties and to grasp the trends in long term wind states, numerical weather simulations over the past 20 years in the Kyushu and Okinawa region were carried out in this study. The implementation of numerical weather simulations allows for reproduction of the climate states over the past 20 years in any spatial range. The numerical simulations implemented in this study are based on the patented technologies developed collaboratively between the ITOCHU Techno-Solutions Corporation (CTC) and the Tohoku Electric Power Co., Inc. (patent no. 3226031). High-resolution numerical simulations, 1 hour and 500m in time and spatial mesh respectively, of the Kyushu and Okinawa district were carried out, and detailed wind states for the region over the past 20 years were reproduced and created. A CTC-original software

LOCALS™, incorporating numerical weather prediction (NWP) model, was implemented into a zooming-style simulation as illustrated in Figure 1. The computational domain considered is areas within services of the Kyushu Electric Power Co. and the Okinawa Electric Power Co., and the time period is 20 years: 1991~2010, respectively. Since execution of thousands of cases must be completed within a given time frame, the simulations reported in this work were carried out in distributed computing style.

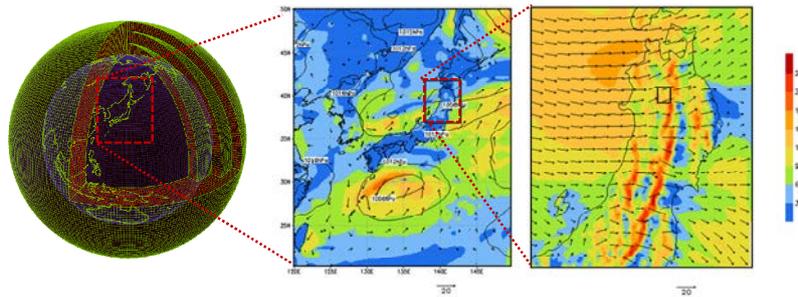


Fig. 1 A conceptual illustration of the numerical weather simulation

(2) Creation of wind-state variation database

Usually, wind energy developers, lenders and investors estimate the expected annual gross power of electricity to be generated to evaluate the continuance of the wind energy businesses. Since the gross annual power generation is an important factor, its variation risks must be evaluated adequately, which require information on variation of annual wind speed.

In order to grasp such variations, wind speeds were computed over the past 20 years using wind data created from high-resolution state-of-the-art numerical weather simulations involving 1 hour and 500m mesh in time and space, respectively. Using the computed average wind speed of the past 20 years, analyses were carried out to determine the variation range and long-term trends. The assessments were made based on wind speeds at 80m above ground assuming the hub-height of 2MW-class wind turbines.

The range of variations in the wind states were evaluated using indices based on standard deviations. Currently, internationally implemented wind power generation risk assessments assume distributions of the variations concerning individual risk factors, for example yearly fluctuations and simulation errors, to be normal. These assessments superpose the standard deviations from each risk factor to evaluate total risks in wind power generation. In this investigation, wind variation risks resulting from errors in the simulations of annual wind speed were taken into consideration for

analyzing the variation range of annual wind speed.

In order to grasp the wind-direction traits of the Kyushu and Okinawa region, occurrences of winds according to directions (16 directions) based on wind speed classification and all wind speeds, and average speeds were compiled. The wind direction frequencies based on wind speed classifications were visualized as wind-rose diagrams. As for data made open to the public, most frequent directions of winds that exceed 5.5 m/s were collected and the direction was illustrated with an arrow for each given point (mesh).

In this report, the analysis results were summarized as shown in Table 1. The averaged annual wind speed of the past 20 years and standard deviations of the Kyushu and Okinawa district are illustrated in Fig. 2 - Fig. 5. By creating a database of the Kyushu and Okinawa district, this work clarified the average annual wind speed and its wind variation risks. Furthermore, frequencies and average wind speeds for 16 directions, as well as most frequent directions from detailed 20-year simulation results were compiled and visualized as wind-rose diagrams as illustrated in Fig. 3 and Table 2.

Table 1 Specification summary of the wind-state variation database

database component	content
Average annual wind speed over 20 years	20-year average of annual wind speed [m/s] (simulation errors not considered)
Standard deviations of yearly annual wind speed	Standard deviations of yearly annual wind speed over 20 years[%] (simulation errors considered)
Maximum annual wind speed in yearly annual wind speed	Maximum annual wind speed in yearly annual wind speed [m/s] (simulation errors not considered)
Minimum annual wind speed in yearly annual wind speed	Minimum annual wind speed in yearly annual wind speed [m/s] (simulation errors not considered)
Occurrences of winds according to 16 directions	Occurrences of winds according to 16 directions over 20 years

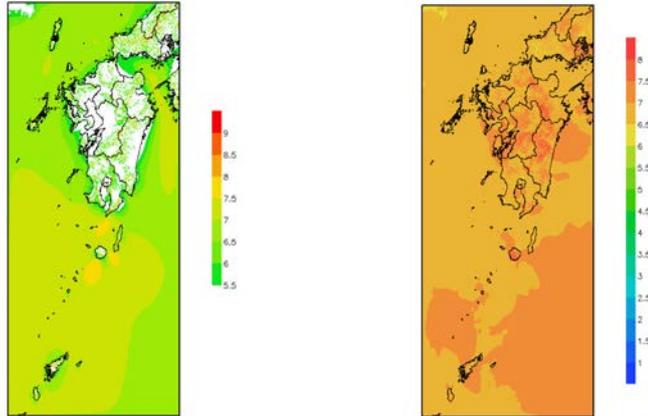


Fig. 2 Average annual wind speeds over the past 20 years in the Kyushu district[m/s] (left) , Standard deviations[%](right)

Calculated based on yearly averaged wind speeds at 80m above ground over the past 20 years. Simulation errors were taken into consideration for calculating the standard deviations.

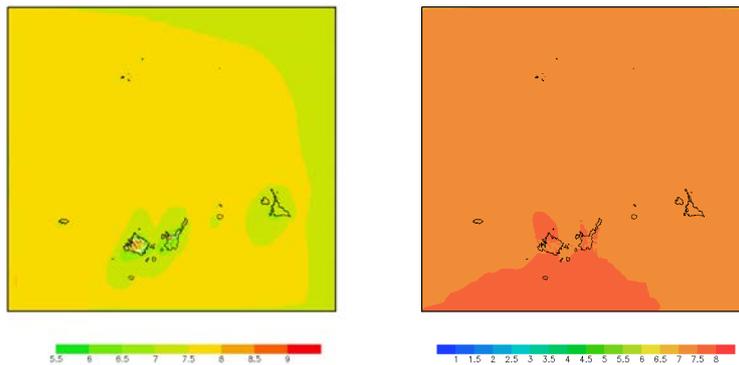


Fig. 3 Average annual wind speeds over the past 20 years in the Okinawa district (Sakishima Islands) [m/s] (left) , Standard deviations[%](right)

Calculated based on yearly averaged wind speeds at 80m above ground over the past 20 years. Simulation errors were taken into consideration for calculating the standard deviations.

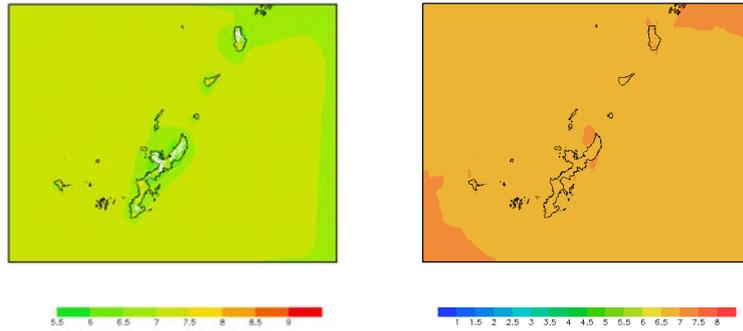


Fig. 4 Average annual wind speeds over the past 20 years in the Okinawa district (around main islands) [m/s] (left) , Standard deviations[%](right) Calculated based on yearly averaged wind speeds at 80m above ground over the past 20 years. Simulation errors were taken into consideration for calculating the standard deviations.

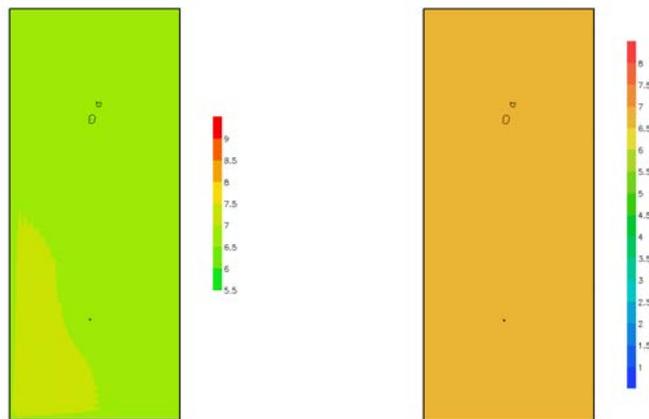


Fig. 5 Average annual wind speeds over the past 20 years in the Okinawa district (around Minamidaitojima Island) [m/s] (left) , Standard deviations[%](right) Calculated based on yearly averaged wind speeds at 80m above ground over the past 20 years. Simulation errors were taken into consideration for calculating the standard deviations.

Table 2 Example of frequencies and average wind speeds for 16 directions, as well as most frequent direction

	0.3[m/s]	4.0[m/s]	6.0[m/s]	9.0[m/s]	12.0[m/s]	15.0[m/s]	all wind speeds	average speed
	~ 4.0[m/s]	~ 6.0[m/s]	~ 9.0[m/s]	~ 12.0[m/s]	~ 15.0[m/s]	~		
NNE	1.22	0.61	0.34	0.16	0.11	0.06	2.5	5.06
NE	1.4	1.59	2.78	1.79	0.54	0.14	8.24	7.33
ENE	1.71	2.98	4.5	1.43	0.24	0.07	10.93	6.58
E	1.77	2.69	2.53	0.63	0.13	0.04	7.79	5.86
ESE	1.61	1.9	1.92	0.46	0.15	0.07	6.11	5.87
SE	1.33	1.25	1.21	0.4	0.09	0.05	4.33	5.72
SSE	1.03	0.78	0.81	0.31	0.1	0.05	3.08	5.81
S	0.87	0.59	0.83	0.44	0.18	0.08	2.99	6.58
SSW	1.11	0.98	1.43	0.96	0.33	0.18	4.99	7.14
SW	1.63	1.33	0.88	0.33	0.09	0.03	4.29	5.21
WSW	2.56	1.53	1.02	0.72	0.2	0.06	6.09	5.47
WSW	2.73	2.2	1.96	0.7	0.17	0.04	7.81	5.51
WNW	2.24	2.66	4.07	2.38	0.84	0.29	12.47	7.21
NW	1.64	1.66	4.02	3.95	2.26	0.48	14.01	8.7
NNW	1.35	0.64	0.5	0.13	0.02	0	2.65	4.46
N	1.2	0.38	0.12	0.02	0	0	1.72	3.38

most frequent direction NW

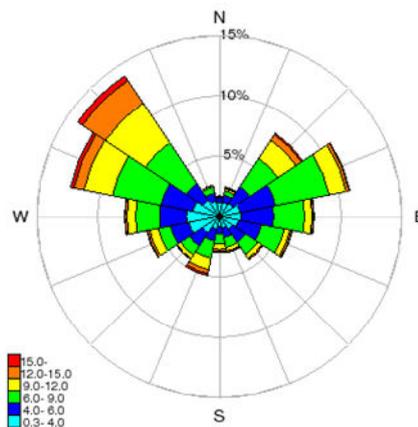


Fig. 6 Example of wind rose

(3) Creation of public database

Since all data in the wind database carry geographical information, this makes visualization on maps and atlases possible. Visualization on maps and atlases was made in the format that can be viewed on arbitrary KLM viewer software on the assumption that the freeware currently generally exhibited is used. For the publication of wind database, the download function was build on the basis of digital map of Geospatial Information Authority of Japan. The wind database created in the previous work was also modified to the same format.

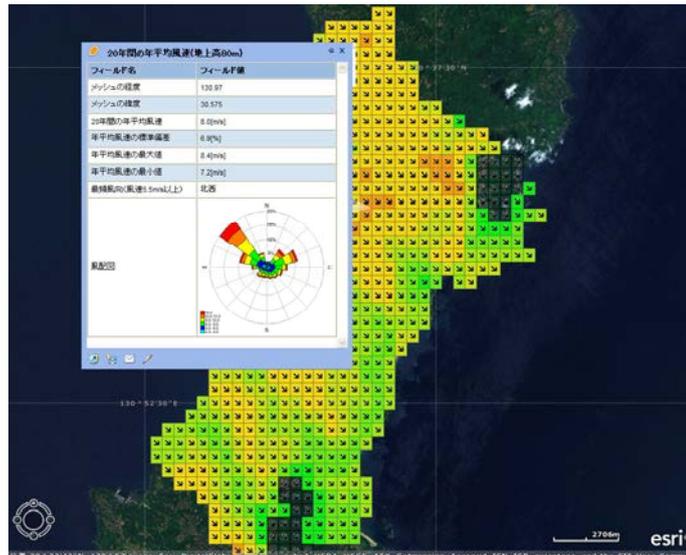
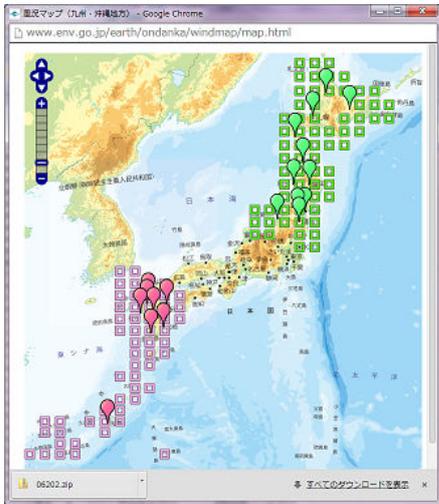


Fig. 7 Image of viewing data

平成 25 年度 九州・沖縄地方における風況変動データ作成事業 報告書目次

1. はじめに	1
1.1. 業務の背景.....	1
1.2. 業務の目的.....	1
1.3. 業務の実施にあたっての基本方針.....	1
2. 業務の実施内容	3
2.1. 九州・沖縄地方の過去 20 年の詳細な風況データの作成.....	3
2.1.1. 九州・沖縄地方の過去 20 年の詳細な風況データの作成方法.....	3
2.1.2. 気象シミュレーション結果の検証・考察.....	8
2.2. 風況変動データの作成.....	16
2.2.1. 九州・沖縄地方における風況変動の解析手法.....	16
2.2.1.1. 年平均風速の解析.....	16
2.2.1.2. 風況変動の解析.....	18
2.2.1.3. 風向（16 方位）別の風速出現頻度の解析.....	19
2.2.1.4. 風況変動データの作成.....	22
2.2.2. シミュレーション誤差評価.....	23
2.2.3. 20 年間の年平均風速の解析結果.....	27
2.2.4. 九州・沖縄地方の長期風況トレンドの考察.....	48
2.3. 公開用データの作成.....	195
2.3.1. データ公開方法.....	195
2.3.2. 風況変動データベース公開システム.....	196
2.3.2.1. ウェブサイト.....	196
2.3.2.2. 公開データ取得機能.....	205
2.3.3. 風況変動データベースの公開用データ化.....	209
2.3.4. 公開データの取得方法.....	219

1. はじめに

1.1. 業務の背景

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を受け、我が国では地球温暖化対策・エネルギー政策の両面から、再生可能エネルギーの導入を一層加速することが求められている。

環境省殿では、「平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」において、我が国における再生可能エネルギー（非住宅用太陽光、風力、中小水力及び地熱）の賦存量、導入ポテンシャル及びシナリオ別導入可能量の推計を行った。その結果、我が国では北海道地方や九州・沖縄地方など、風力発電の導入可能量が大きい地域が分かっており、今後の導入拡大が期待されている。

一方で、風力発電事業においては、事業計画どおりに風が吹かない、あるいは想定よりも風が弱いといった「風況変動リスク」がある。そのリスクは、その事業規模に比例して大きくなり、リスクが顕在化した場合、事業の継続性に影響を及ぼすことから、事業者にとって、事業実施の大きな障壁となっている。

そこで環境省殿では、「平成23年度東北地方における風況変動データベース作成事業」及び「平成24年度北海道地方における風況変動データ作成事業」（以後、併せて「過年度事業」という）を実施し、北海道及び東北地方における風況変動リスクを評価するデータベースを作成した。その成果は、国内の多くの風力発電事業者に広く利用されている。風力発電事業者にとっては、北海道及び東北地方だけでなく他のエリアへのさらなる風況変動データベースの整備拡大が期待されている。

1.2. 業務の目的

本業務では、九州・沖縄地方における風力発電の導入加速のために、過年度事業の成果との整合性を確保し、当該地域において風力発電事業の実施を検討している事業者が利用可能な風況変動リスク及び風向の変動特性を評価するデータベースを作成・公開することで、風力発電事業の事業性評価及び風車配置の検討に資することを目的とする。

1.3. 業務の実施にあたっての基本方針

(1) 局地気象モデル LOCALS™ を用いて過去20年分の九州・沖縄地方の風況を過年度事業と同等に再現

数十年にわたって、同一の条件で風況が計測されている観測地点は国内の気象官署でも限られた地点しかない。従って、気象モデルを用いた最新の気象シミュレーション技術を使って、気象の再現計算をおこなうことが非常に重要である。

本業務では、気象シミュレーション技術を採用し、詳細な時間解像度および空間解像度で

気象シミュレーションをおこない、過去 20 年分の九州・沖縄地方の風況を忠実に再現することに重点を置いた。気象シミュレーション技術は過年度事業にて使用された実績のある局地気象モデル LOCALS™ を採用し、過年度事業で整備された北海道及び東北地方の風況データと整合の取れた、同質のデータを確実に作成した。

(2) ハイパフォーマンスな計算機器の整備と負荷分散処理による高解像度かつ短期間で の気象シミュレーション計算の実現

気象モデルを用いた気象シミュレーションは、計算コストを要する代表的な事例の一つであり、高速な計算環境の整備が、本業務を実施する上での主要な課題の一つである。本業務では、高速計算を実現する上で必要な計算機器を整備し、計算機のパフォーマンスを最大限引き出す負荷分散技術を駆使することで、高解像度な気象シミュレーション計算を高速で実行することが可能になった。

(3) 九州・沖縄地方の風況変動及び風況変動特性の解明に資する風況データベースの作成

九州・沖縄地方の風況変動及び風向変動特性の解明に資する時空間的に高解像度の風況データベースを作成した。風力事業関係者の事業リスク評価を実施する上で標準となる風況の年変動リスクの指標を整備するとともに、風力発電事業者が風車配置を検討する際の有益な情報として、風向変動特性を容易に把握できるように可視化した情報を整備した。

(4) 風力発電事業者・レンダーにとって使い勝手の良い公開用データベースの構築

利用者にとって使い勝手の良い公開用データベースの構築をおこなった。公開用データは GIS を活用し分かりやすい画面となるように留意した。風力発電事業者・レンダーにとって使い勝手の良い画面となるようにヒアリングを実施することで、公開用データの設計に反映させた。また、過年度事業で作成した公開データについても、同時に閲覧できるよう整備した。

2. 業務の実施内容

2.1. 九州・沖縄地方の過去 20 年の詳細な風況データの作成

九州・沖縄地方の過去 20 年の風況データの作成にあたっては、伊藤忠テクノソリューションズ(株) (以後、CTC) が東北電力(株)と共同で取得した特許技術(特許 3226031 号、東北経済産業局長賞及び実施功績賞を受賞)に基づいた気象シミュレーション技術を適用することで、九州・沖縄地方の詳細な風況データを推定した。これにより、九州・沖縄地方を詳細な時間解像度および空間解像度で気象シミュレーションをおこなうことが可能になり、高精度の詳細な風況データ作成が可能となった。

また、計算機のパフォーマンスを可能な限り引き出す負荷分散技術を駆使することで、高解像度な気象シミュレーションを高速に実行することが可能となった。

2.1.1. 九州・沖縄地方の過去 20 年の詳細な風況データの作成方法

過去 20 年間の風況データには、NCEP (米国大気海洋庁) の再解析データを使用した。再解析データとは、長期の気候変動研究などを目的として作られる格子点気象データである。

再解析データは、数値予報/データ同化手法を用いて過去数十年の気象観測データから、同一の数値気象モデルを使うことにより作成される、長期間の均質な長期気象データである。このデータを用いることにより、過去 20 年にわたる長期間の風況変動の解析が実施した。

NCEP から提供される再解析データは、1979 年の過去データから一般に公開されており、本業務で利用する過去 20 年間の風況データは、この公開データを使用している(図 2-1)。

一方で再解析データは、空間解像度は 2.5 度(緯度方向) × 2.5 度(経度方向) と粗い間隔の格子データであるため、気象シミュレーション技術を駆使し、更に詳細なメッシュで再計算を実施した。

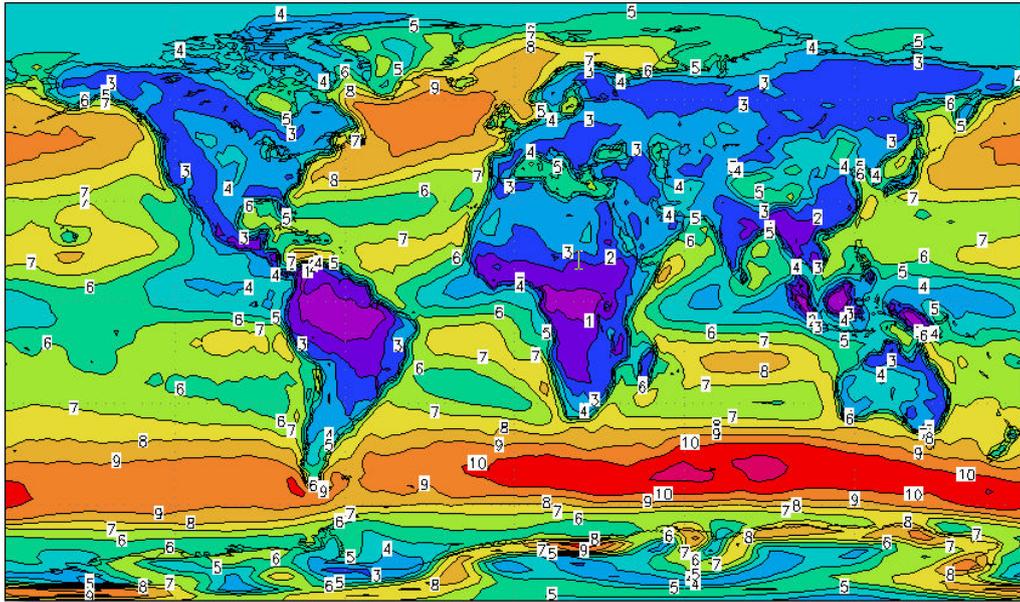


図 2-1 NCEP（米国大気海洋庁）の再解析データを用いて計算された世界の風況マップ

気象シミュレーションをおこなう際は、NCEP の再解析データを入力として、段階的に計算領域を狭めながら計算格子の詳細化を行った（図 2-2 参照）。具体的には、九州・沖縄地方を含んだ広域の計算領域から、九州 1 領域（全域）および沖縄 3 領域（先島諸島／本島週辺／南大東周辺）の計 4 領域で詳細なメッシュ（水平解像度 500m のメッシュ）を切り出して計算を実施し、高解像度の風況データを生成した（図 2-3 参照）。

CTC がこれまで 10 年以上にわたって、多くの気象シミュレーションをおこなってきた経験上、水平解像度が 500m メッシュ以下であれば、高精度な風況を推定できることがわかっている。従って、本業務においても水平解像度を 500m に設定し、気象シミュレーションを実施した。

計算出力は 1 時間毎におこない、年間平均風速の評価に対して高解像度な時間間隔のデータを生成した（20 年間×365 日×24 時間＝175,200 時間分のデータを生成）。

計算領域は、九州・沖縄電力の電力供給管内 7 県を対象とし、計算期間は 1991 年～2010 年の 20 年間とした。

気象シミュレーションは、局地気象モデル LOCALS™ を使用した。LOCALS™ は風力発電量評価および国内および海外の風況マップ作成業務において、豊富な実績のある気象モデルである。

表 2-1 九州・沖縄地方における詳細メッシュデータの仕様

計算領域	計算期間	計算出力データの解像度		
		水平解像度	鉛直解像度	時間解像度
九州・沖縄電力 供給管内	1991 年～2010 年	500m メッシュ	最小 10m メッ シュ	1 時間 ⇒20 年間×365 日×24 時間＝ 175,200 時間分 のデータを生成

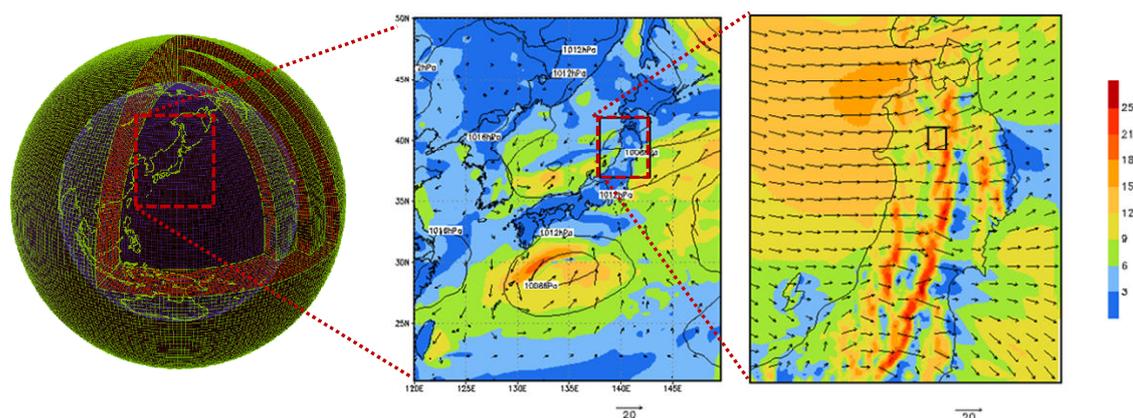


図 2-2 段階的に計算領域を狭めながら計算格子を詳細化していく手法の概念図
 段階的に計算領域を狭めることで、周辺の気象状況の様子を反映させつつ、
 計算格子を詳細化することが可能になる。

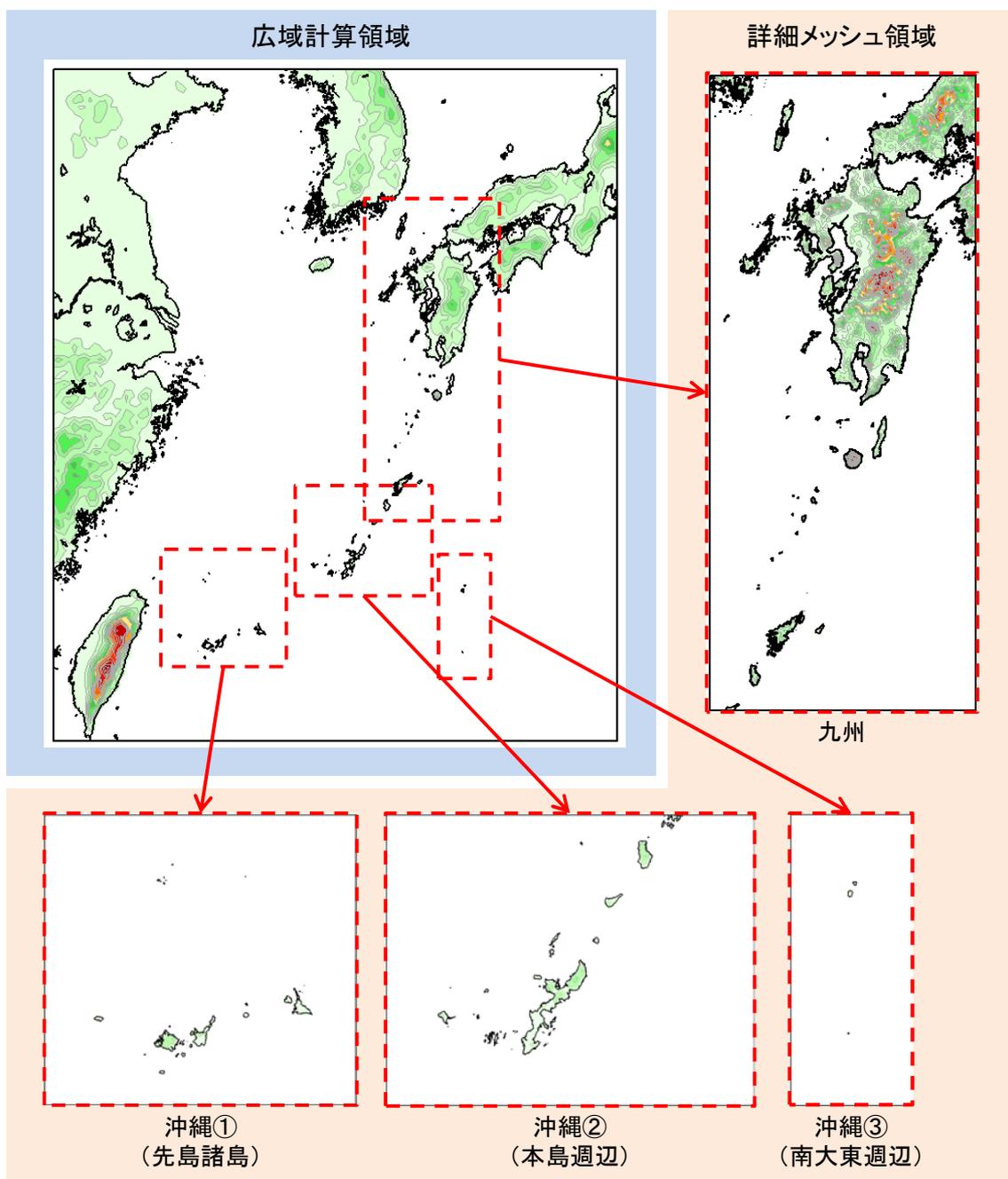


図 2-3 九州・沖縄地方の計算領域

気象シミュレーションは1日単位で行う必要があり、九州・沖縄地方20年分の風況データの作成には、トータルで約7,300(20年間×365日)ケースの計算が必要となる。この7,300ケースという膨大な数の計算シミュレーションを行うことが、限られた期間で20年分の風況データを整備する際の大きな1つのボトルネックとなっている。

そこでマルチコアプロセッサに対して効率的な分散処理を行い、マルチコアプロセッサの性能を最大限利用することでこの問題を解決した。計算環境には32プロセッサが利用可能

な計算機を 8 台、合計 256 プロセッサの計算環境を使用した。このため、1 プロセッサのみを使用した場合と比べて最大 256 倍計算速度を高速化することができた。

分散処理の方法としてはスクリプトでの複数プロセスの実行制御を行った。スクリプトの記述言語には主に Python2.6 を使用した。スクリプトで LOCALS™ のシミュレーション計算を複数生成させ作成された実行プロセスを各プロセッサに割り当て同時に実行するよう分散処理させた。

2.1.2. 気象シミュレーション結果の検証・考察

気象シミュレーションを使用して作成した九州・沖縄地方の過去 20 年間の詳細な風況データと、実際の天気概況との比較を行い、気象シミュレーションが適切に実施されているか検証を行った。具体的には、2005 年の 1 月、5 月、9 月、12 月の 16 日 9 時における天気概況を対象として比較を行った。

- 2005 年 2005 年 1 月 16 日の事例

冬季の事例として 2005 年 1 月 16 日の事例を示す。図 2-4 の天気図を見ると、関東地方の東方沖に低気圧が発達した西高東低の気圧配置となっており、九州・沖縄地方ではその関東沖の低気圧を取り囲むように気圧の尾根が張り出していることがわかる。

一方、2005 年 1 月 16 日 9 時のシミュレーション結果を図 2-5 に示す。この図を見ると、関東沖の低気圧を取り囲むように張り出した気圧の尾根をよく再現できていることがわかる。また、関東沖の低気圧の中心に近づくほど等圧線が密になり、風速が強まっている状況を再現できている。

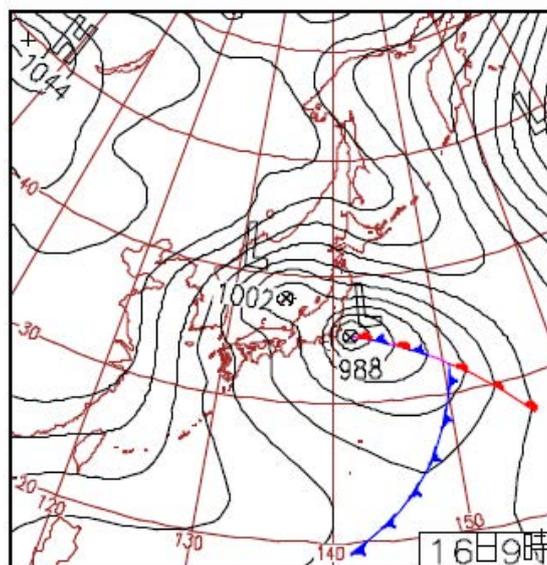


図 2-4 2005 年 1 月 16 日 9 時の天気図 (気象庁ホームページ「日々の天気図」より)

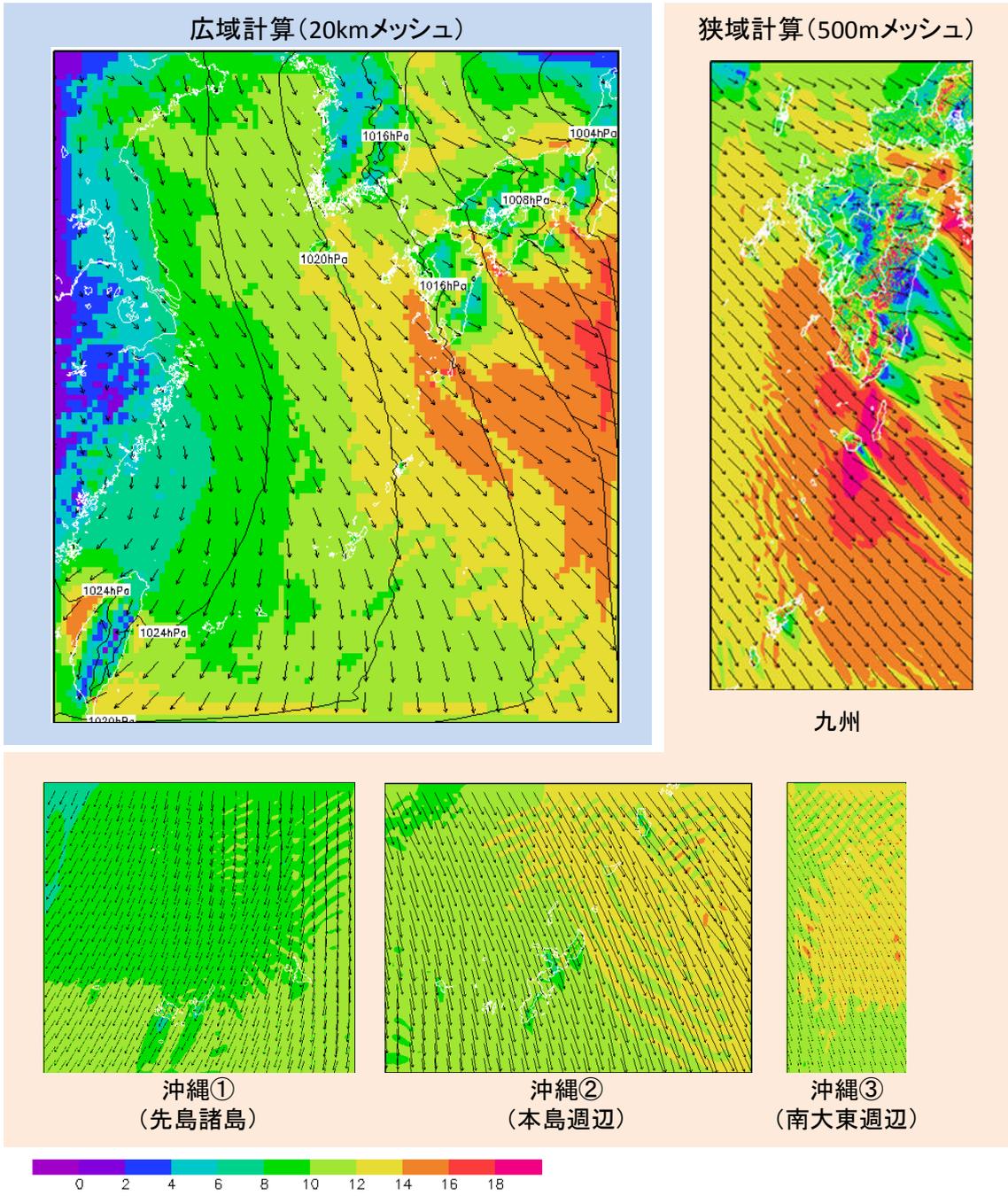


図 2-5 2005 年 1 月 16 日 9 時の風況図

背景薄青：広域シミュレーション結果（20km メッシュ）

背景薄オレンジ：狭域シミュレーション結果（500m メッシュ）

陰影部およびベクトルは水平風速[m/s]を示す。

左図の等値線は地上気圧[hPa]を示す。

- 2005年5月16日の事例

春季の事例として2005年5月16日の事例を示す。図2-6をみると、日本海を中心に発達した高気圧が、西日本から九州・沖縄方面全域を覆っていることがわかる。九州・沖縄地方では、等圧線がかなり疎な状態となっている。

一方、2005年5月16日9時のシミュレーション結果を図2-7に示す。この図を見ると、日本海に発達した高気圧が九州・沖縄方面まで覆っており、高気圧性の循環（時計回りの循環）が再現されていることが確認できる。

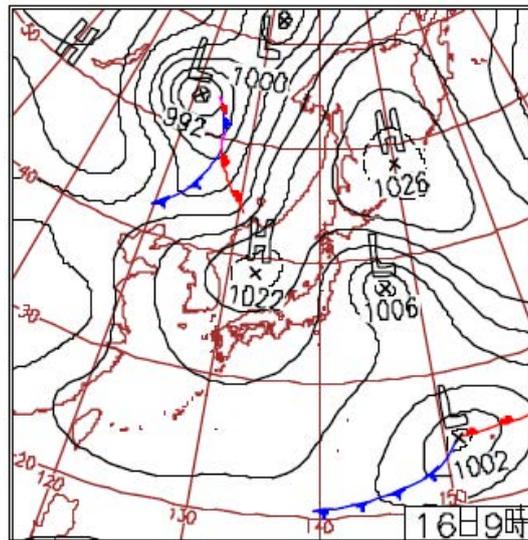


図 2-6 2005年5月16日9時の天気図（気象庁ホームページ「日々の天気図」より）

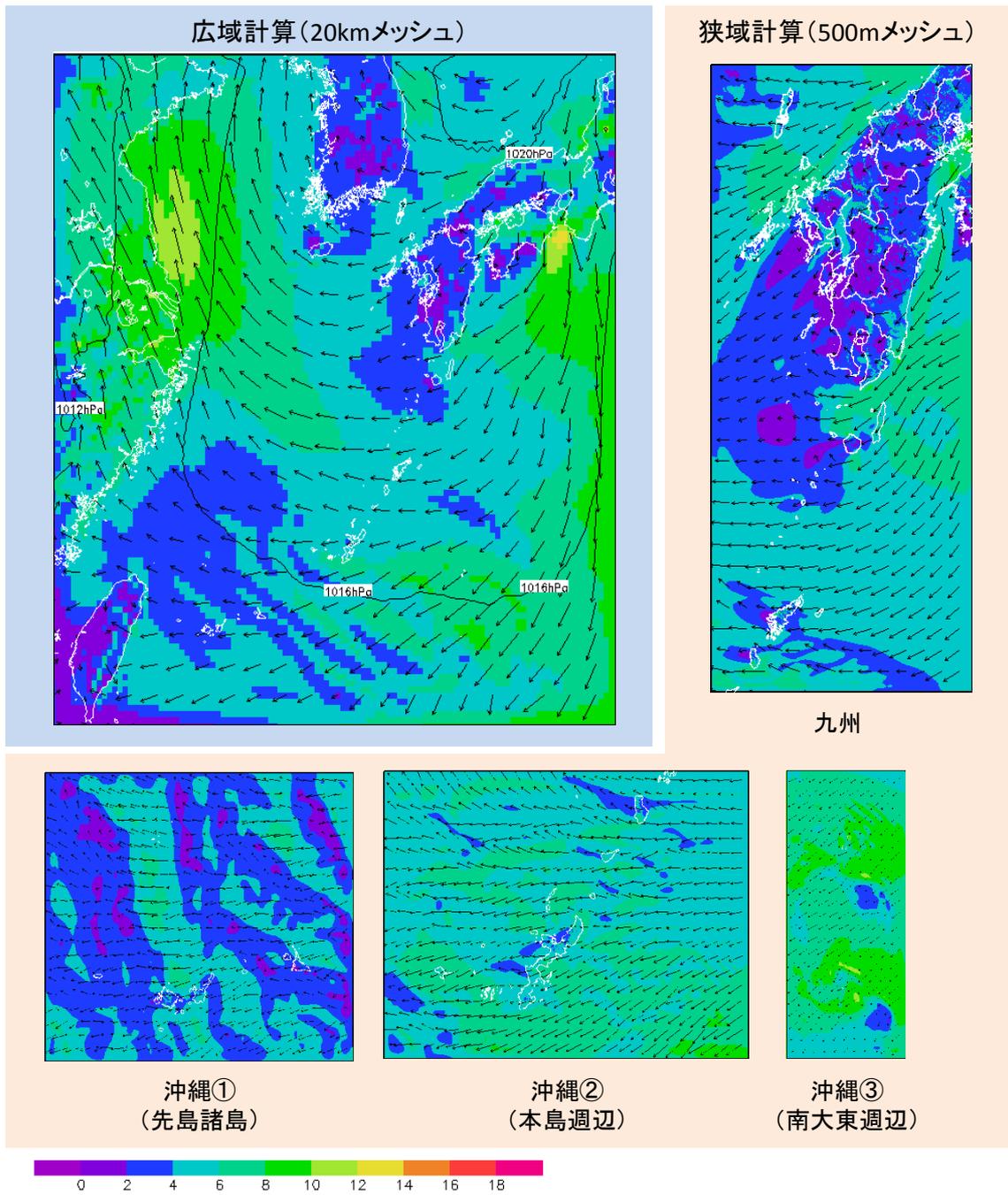


図 2-7 2005年5月16日9時の風況図

背景薄青：広域シミュレーション結果（20kmメッシュ）

背景薄オレンジ：狭域シミュレーション結果（500mメッシュ）

陰影部およびベクトルは水平風速[m/s]を示す。

左図の等値線は地上気圧[hPa]を示す。

- 2005年9月16日の事例

夏季後期から秋季の事例として2005年9月16日の事例を示す。図2-8をみると、三陸沖の移動性高気圧に日本列島全体的に覆われており、九州・沖縄地方は等圧線が非常に疎となっていることがわかる。また、北西（中国大陸）と南西（南シナ海）に低気圧が存在し、その間を西方に気圧の尾根が伸びていることが確認される。

一方、2005年9月16日9時のシミュレーション結果を図2-9に示す。この図を見ると、九州・沖縄地方付近では等圧線が疎となっており、風速もかなり弱い状況となっている様子を再現できている。また、南北の低気圧の間を気圧の尾根が西方に伸びている様子も再現できている。

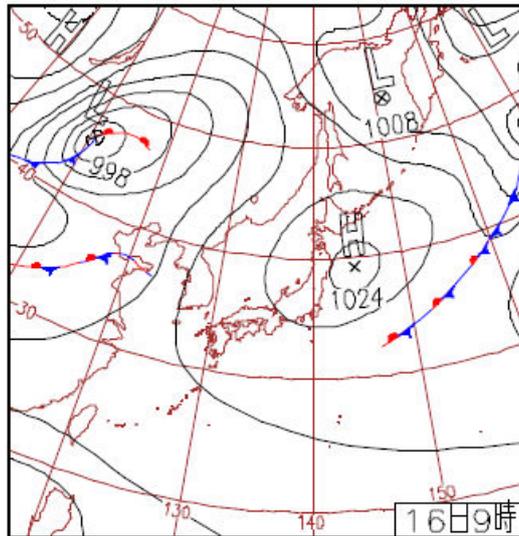


図 2-8 2005年9月16日9時の天気図（気象庁ホームページ「日々の天気図」より）

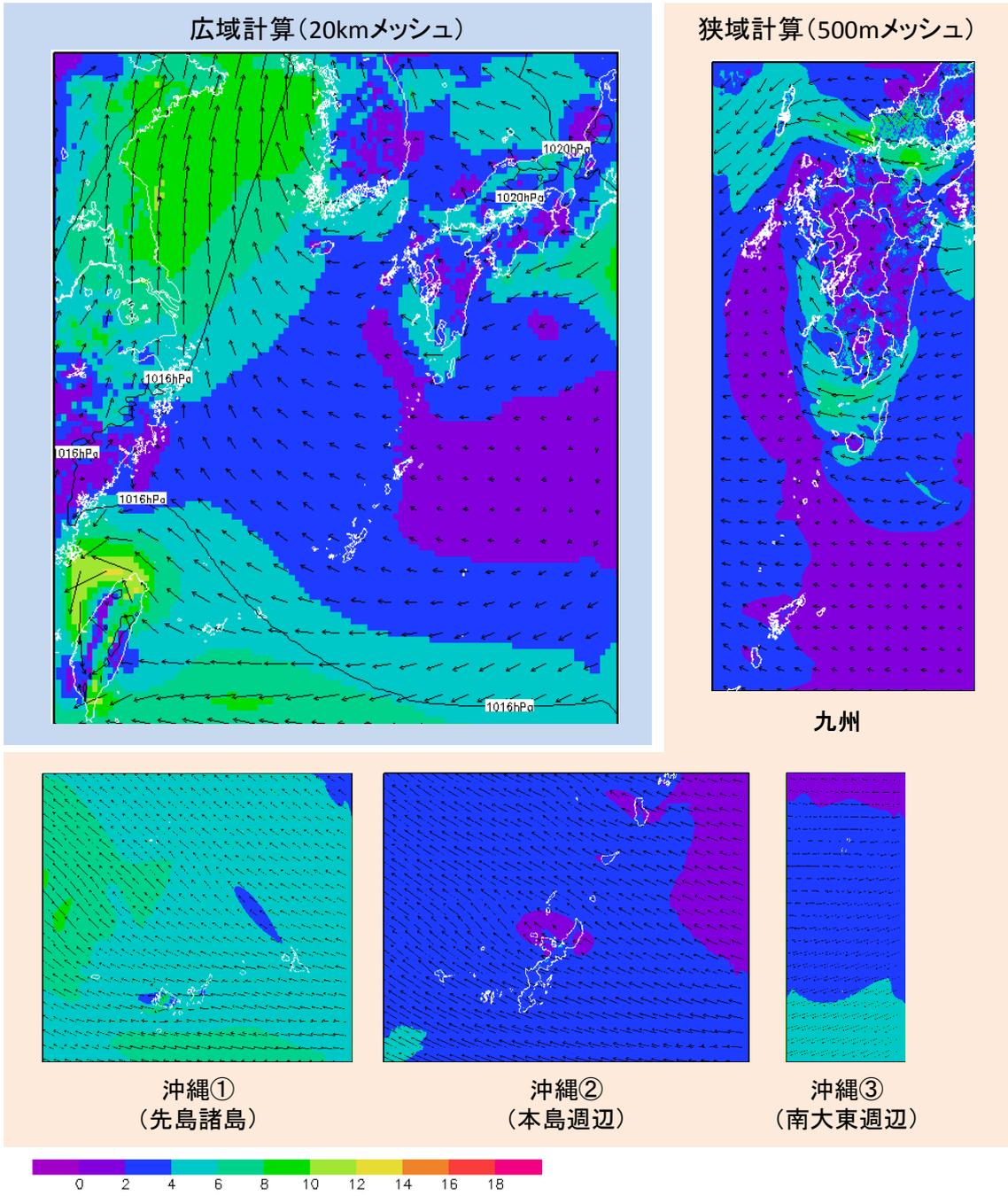


図 2-9 2005年9月16日9時の風況図

背景薄青：広域シミュレーション結果（20kmメッシュ）

背景薄オレンジ：狭域シミュレーション結果（500mメッシュ）

陰影部およびベクトルは水平風速[m/s]を示す。

左図の等値線は地上気圧[hPa]を示す。

- 2005年12月16日の事例

最後に、2005年12月16日の事例を示す。図2-10をみると、日本列島付近は太平洋側に高気圧が存在しているが、概ね冬型の気圧配置（西高東低）となっていることがわかる。九州・沖縄地方には大陸側から緩やかに気圧の尾根が張り出しているが、等圧線の間隔は比較的疎である。

一方、2005年12月16日9時のシミュレーション結果を図2-11に示す。この図を見ると、大陸側から張り出した緩やかな気圧の尾根を再現できていることがわかる。等圧線は疎であるが、等圧線に沿うように時計回りに風が回り込んでいる様子が再現できている。

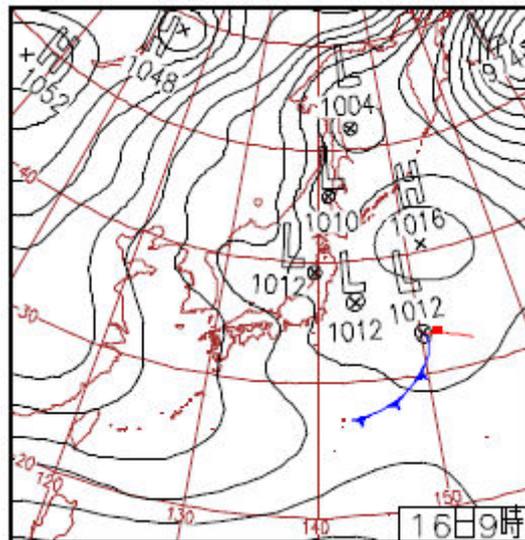


図 2-10 2005年12月16日9時の天気図（気象庁ホームページ「日々の天気図」より）

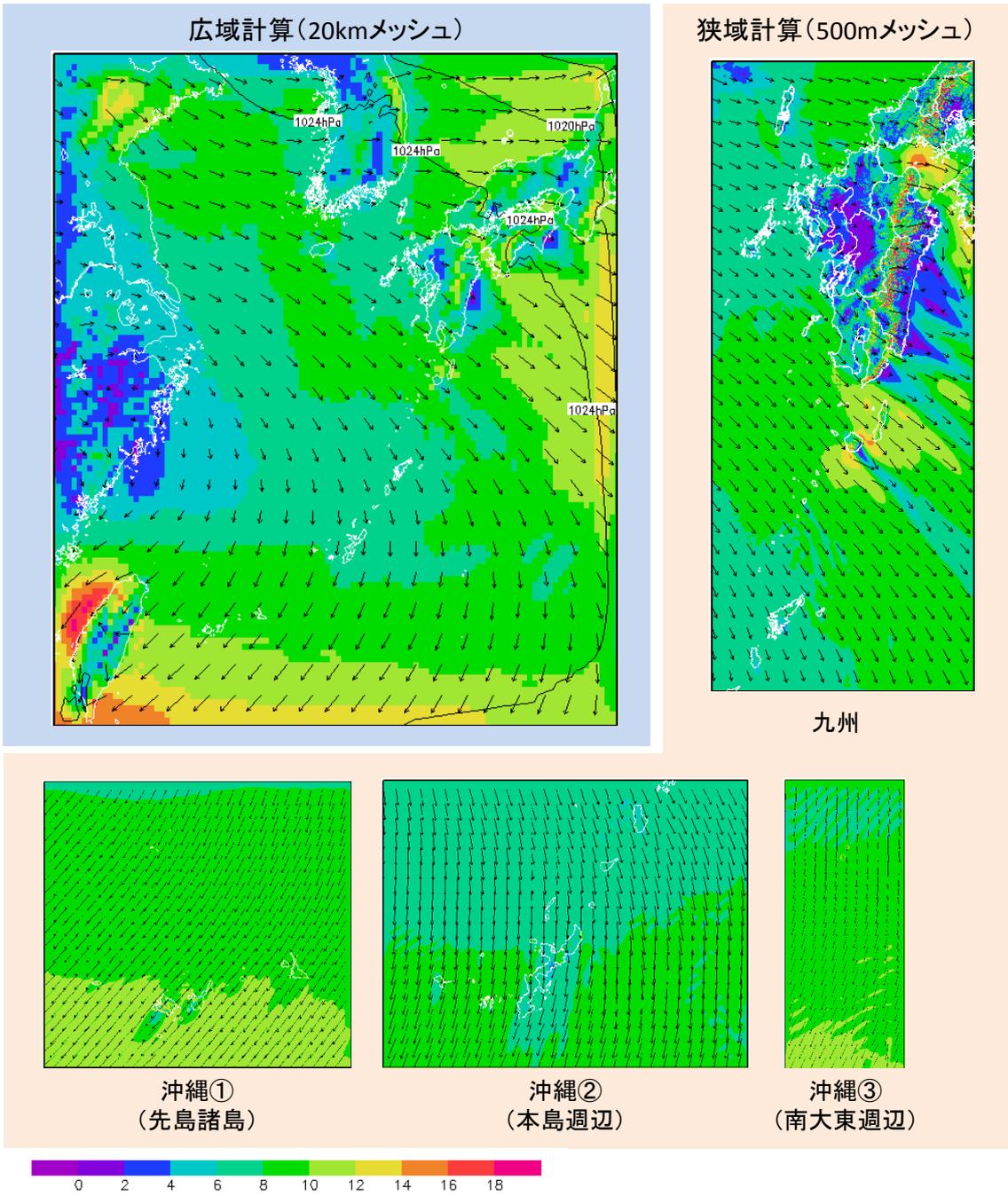


図 2-11 2005年12月16日9時の風況図

背景薄青：広域シミュレーション結果（20kmメッシュ）

背景薄オレンジ：狭域シミュレーション結果（500mメッシュ）

陰影部およびベクトルは水平風速[m/s]を示す。

左図の等値線は地上気圧[hPa]を示す。

2.2. 風況変動データの作成

事業者やレンダーが風力発電の事業性を評価する際は、期待される年間総発電量の確率分布を推定することで、事業が継続可能な年間総発電量の下限値を見積もっている。この見積りをおこなう際、年間の風況の変動幅を把握することは必須である。

風力発電事業は年間で期待される電力量を基準に評価される。従って、風力発電事業の変動リスクを適切に評価するためには、解析対象地点における「年平均風速」の変動幅を把握する必要がある。

また、複数基の風車を配置するウインドファームでは、風車の配置は当該地域の卓越風向を考慮して決定する必要がある。風車の風下に形成される風況の乱れた領域はウェーク領域と呼ばれ、この領域に風車を設置した場合、エネルギー取得量は大きく減少する。このため、ウインドファーム全体としての発電量を最大限に得るためには、卓越風向を考慮した風車配置の検討が必要となる。したがって、最適な風車配置の検討に資する情報として、解析対象地点における長期間の風向の変動特性を把握することは重要である。

本事業では風況変動データ作成のために、20年分の風速を解析し、九州・沖縄地方における風況の年平均風速の平均値および変動幅（標準偏差、最大値、最小値）の解析を実施した。さらには、九州・沖縄地方における風向の特性を把握するために、風向（16方位）別の風速出現頻度の解析を実施した。

2.2.1. 九州・沖縄地方における風況変動の解析手法

2.2.1.1. 年平均風速の解析

九州・沖縄地方における風況変動を明らかにするために、気象シミュレーションで得られた九州・沖縄地方の各地点における詳細メッシュ（500mメッシュ）のデータを用いて年平均風速の解析を行った。解析仕様を表 2-2 に示す。

気象シミュレーションによって計算された風況データは20年間にわたって、各年毎に8,760時間分（=365日×24時間）のデータがあるため、年平均風速の変動幅を分析するために、九州・沖縄地方の各詳細メッシュの年平均風速データを解析し、九州・沖縄地方における20年分の年平均風速のデータベースを整備した。

表 2-2 九州・沖縄地方における年平均風速データベース作成に関する仕様

計算領域	計算期間	水平解像度	時間解像度
九州・沖縄電力供給管内	1991年～2010年の詳細メッシュの風況データを使用	水平解像度 500mメッシュ以下の詳細メッシュの風況データを使用	20年間×365日×24時間=175,200時間分のデータを使用して平均化処理



図 2-12 時間別風速データから年平均風速データに変換する処理の概念図

年平均風速の計算にあたっては、まず、時間解像度 1 時間・水平解像度 500m メッシュのシミュレーション計算結果 20 年分を集計し、1991 年から 2010 年の各年の年平均風速をメッシュ毎に計算した。

なお、シミュレーションでは風は空間 3 成分（水平方向（東西・南北）、鉛直方向）の値を計算している。ある時間の風を $V_i(u_i, v_i, w_i)$ とし、以下のように水平風速および年平均風速の計算を実施した。

- 風速

$$|V_i| = \sqrt{(u_i^2 + v_i^2)} \quad (2-1)$$

- 年平均風速

$$|\bar{V}_{\text{年}}(j)| = \frac{1}{n} \sum_i^n \sqrt{(u_i^2 + v_i^2)} \quad (n = (1 \text{ 年間の日数}) * 24 \text{ 時間}) \quad (2-2)$$

2.2.1.2. 風況変動の解析

九州・沖縄地方における 20 年分の詳細メッシュの年平均風速のデータベースをもとに風況の変動幅の解析を実施した。20 年分の風況の変動幅については、標準偏差の指標を用いて分析した。現在、国際的に用いられている風力発電事業のリスク評価は、各々のリスク要因（年変動、シミュレーション誤差等）の変動が正規分布していると仮定して評価をおこなっている。風力発電事業全体のリスク（標準偏差）は、各々のリスク要因の標準偏差を重ね合わせる事によって算出されている。従って、国際的に用いられているリスク評価手法と適合させるためには、年平均風速の変動に関する標準偏差を算出することが重要である。

具体的には以下に示す流れで、年平均風速の変動幅だけでなく、年平均風速の推定の際のシミュレーション誤差によって発生するリスクも考慮し、九州・沖縄地方の風況の変動幅に関するリスク解析を実施した。

(1) 年平均風速データベースを用いた風況の変動幅解析

まず、九州・沖縄地方で作成された 20 年分の年平均風速をもとに、各メッシュにおける年平均風速自体の標準偏差 $\sigma_{\text{シミュレーション年変動幅}}$ を解析することで、気象シミュレーションによって算出された年平均風速の変動幅に関する解析を実施した。

1. で計算した 20 年分の年平均風速データから、20 年平均風速およびシミュレーション年変動幅（20 年の年平均風速の標準偏差）をメッシュ毎に計算した。また、年平均風速の最大値および最小値の計算も行った。年平均風速の最大値は 20 年間のうち年平均風速が最も大きい年の平均風速とし、年平均風速の最小値は平均風速が最も小さい年の平均風速とした。

20 年平均風速およびシミュレーション年変動は、以下の式に従って計算した。

- 20 年平均風速

$$|\bar{V}_{20\text{年}}| = \frac{1}{N} \sum_j^N |\bar{V}_{\text{年}}(j)| \quad (N=20\text{年}) \quad (2-3)$$

- シミュレーション年変動幅

$$\sigma_{\text{シミュレーション年変動幅}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_j^N (|\bar{V}_{\text{年}}(j)| - |\bar{V}_{20\text{年}}|)^2} \quad (N=20\text{年}) \quad (2-4)$$

(2) 年平均風速データベースのシミュレーション誤差解析

次に、九州・沖縄地方における年平均風速データベースのシミュレーション誤差に対する標準偏差 $\sigma_{\text{シミュレーション誤差}}$ を把握するために、気象官署および測候所で長年にわたって観測された風況の実測データを用いてシミュレーションの誤差解析を行った。

具体的な誤差評価手法については 2.2.2 項に後述する。

(3) 年平均風速の変動幅に関するリスク評価

20 年間の気象シミュレーションによって各メッシュにおいて算出される年平均風速自体の標準偏差 $\sigma_{\text{シミュレーション年変動幅}}$ および、気象シミュレーションの誤差の標準偏差 $\sigma_{\text{シミュレーション誤差}}$ は、それぞれの変動が正規分布に従っていると仮定すると、正規分布の加法性により、以下の式を用いて合成することができる。

$$\sigma_{\text{年変動リスク}}^2 = \sigma_{\text{シミュレーション年変動幅}}^2 + \sigma_{\text{シミュレーション誤差}}^2 \quad (2-5)$$

気象シミュレーションによる年変動幅の評価だけでなく、気象シミュレーションの誤差も併せて評価することで、風力発電の事業性評価に利用可能な風況変動リスクを算出した。

2.2.1.3. 風向（16 方位）別の風速出現頻度の解析

九州・沖縄地方における、20 年間にわたる風向（16 方位）別の風速出現頻度については、2.1 項で整備された各詳細メッシュにおける 20 年分の時別の風況データ（20 年間×365 日×24 時間＝175,200 時間分のデータ）を風向別・風速階級別に解析を行なうことで整備した。



図 2-13 九州・沖縄地方における風向（16 方位）別の風速出現頻度データ作成フロー

まず、2.1 項で整備された各詳細メッシュにおける 20 年分の時別の風況データ（20 年間×365 日×24 時間＝175,200 時間分のデータ）を用いて、風向別風速出現頻度の解析を風速階級別および全風速域に対して実施した。また、全風速域に対する風向別の平均値の算出も行った。さらに、公開用データにおいてメッシュ内に矢印として表示するために、5.5m/s 以上の風速域に対して最頻風向の集計も行った。

2.1 項で整備された各詳細メッシュにおける 20 年分の時別の風況データには、水平風速（東西方向、南北方向）及び鉛直風速のデータが整備されている。16 方位の風向の情報は

この水平風速データを利用して作成可能である。各詳細メッシュにおける風向別風速出現頻度はこの風向(16方位)の情報と水平風速データを利用して作成した。風向は16方位別(北、北北東、北東、東北東、東、東南東、南東、南南東、南、南南西、南西、西南西、西、西北西、北西、北北西)に分類し、風速階級は2~3m/s間隔で分類した。表2-3に風向別風速出現頻度の解析例を示す。

表 2-3 風向 (16 方位) 別の風速出現頻度と平均風速、および最頻風向の例

最頻風向 北西

	0.3[m/s]	4.0[m/s]	6.0[m/s]	9.0[m/s]	12.0[m/s]	15.0[m/s]	全風速	風向別 平均風速
	~ 4.0[m/s]	~ 6.0[m/s]	~ 9.0[m/s]	~ 12.0[m/s]	~ 15.0[m/s]	~		
北北東	1.22	0.61	0.34	0.16	0.11	0.06	2.5	5.06
北東	1.4	1.59	2.78	1.79	0.54	0.14	8.24	7.33
東北東	1.71	2.98	4.5	1.43	0.24	0.07	10.93	6.58
東	1.77	2.69	2.53	0.63	0.13	0.04	7.79	5.86
東南東	1.61	1.9	1.92	0.46	0.15	0.07	6.11	5.87
東南	1.33	1.25	1.21	0.4	0.09	0.05	4.33	5.72
南南東	1.03	0.78	0.81	0.31	0.1	0.05	3.08	5.81
南	0.87	0.59	0.83	0.44	0.18	0.08	2.99	6.58
南南西	1.11	0.98	1.43	0.96	0.33	0.18	4.99	7.14
南西	1.63	1.33	0.88	0.33	0.09	0.03	4.29	5.21
西南西	2.56	1.53	1.02	0.72	0.2	0.06	6.09	5.47
西	2.73	2.2	1.96	0.7	0.17	0.04	7.81	5.51
西北西	2.24	2.66	4.07	2.38	0.84	0.29	12.47	7.21
北西	1.64	1.66	4.02	3.95	2.26	0.48	14.01	8.7
北北西	1.35	0.64	0.5	0.13	0.02	0	2.65	4.46
北	1.2	0.38	0.12	0.02	0	0	1.72	3.38

次に、各詳細メッシュ別に整備した風向（16 方位）別の風速出現頻度データの可視化を行った。可視化には、風向（16 方位）別の風速出現頻度を表現する図として一般的な風配図を利用した。この風配図は、ある地点の風向の特性を可視化するために利用される図であり、卓越風向やその他風向・風速特性などが一目で把握可能となる。本事業では各詳細メッシュ別にこの風配図を作成し、九州・沖縄地方における風向特性を一目で把握することが可能なデータを整備した。図 2-14 に風配図の例を示す。

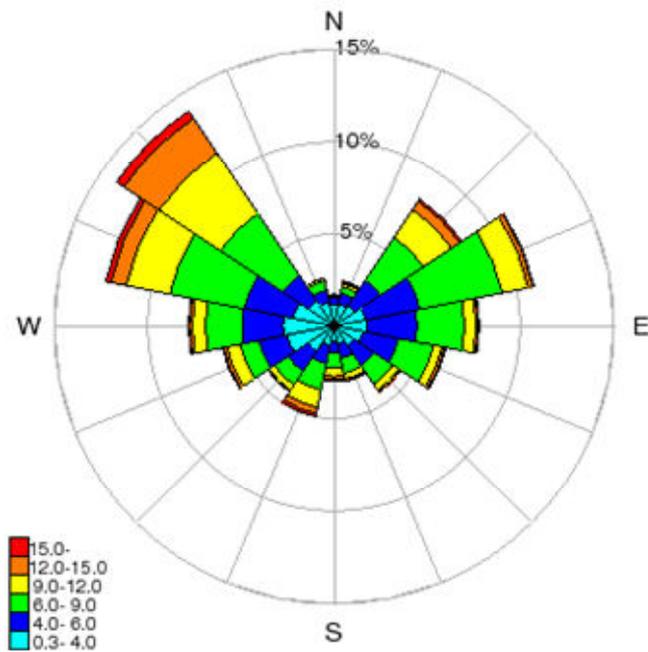


図 2-14 風配図の例

2.2.1.4. 風況変動データの作成

九州・沖縄地方における各メッシュの20年分の年平均風速の平均値、変動幅（標準偏差、最大値、最小値）、および風向（16方位）別の風速出現頻度データを使用して、風力発電事業の風況変動リスク評価に資する風況変動データを作成した。本業務で作成した風況変動データの仕様を表2-4に示す。

風況変動データベースの作成にあたっては、国内風力発電事業者およびレンダーに対して実施したヒアリングの結果を反映した。データベースの要素としては、「20年間の年平均風速」「年平均風速の標準偏差」「年平均風速の最大値」「年平均風速の最小値」「風向（16方位）別の風速出現頻度」の5要素とした。

また、ヒアリングの結果として、以下のような意見もあった。今後の事業等において整備されることが望まれる。

（レンダー）

- ・風速出現頻度が加重平均等によって加味された平均風速データが整備されるとよい
- ・各メッシュでの20年間分の年平均風速の推移がグラフで表示できるとよい
- ・月次での解析データがメッシュ毎にみられるとよい

（事業者）

- ・台風等のリスク評価に利用可能な、カットアウト風速以上の風速を除いた風況データが整備されるとよい

表 2-4 九州・沖縄地方における風況変動データの仕様

データベース要素	内容
20年間の年平均風速	20年間の年平均風速の平均値[m/s] (シミュレーション誤差を加味せず)
年平均風速の標準偏差	20年間の年平均風速の標準偏差[%] (シミュレーション誤差を加味)
年平均風速の最大値	20年間の年平均風速の最大値[m/s] (シミュレーション誤差を加味せず)
年平均風速の最小値	20年間の年平均風速の最小値[m/s] (シミュレーション誤差を加味せず)
風向（16方位）別の風速出現頻度	20年間の風向（16方位）別の風速出現頻度

2.2.2. シミュレーション誤差評価

- 気象官署における 20 年間の年平均風速との比較

九州・沖縄電力供給管内の気象官署 22 地点の過去 20 年間分（1991 年～2010 年）の年平均風速を対象とし、シミュレーション誤差の分析を実施した。気象官署の年平均風速との比較のために、シミュレーション値は各気象官署の風速計の計測高度に対応した値を抽出した（表 2-6 参照）。一般的に、大形の風力発電機の回転に必要な最低風速（カットイン風速）は 3.0～5.0[m/s]とされているため、本シミュレーション誤差の分析においては、年平均風速が 4.0[m/s]以上の地点（雲仙岳・阿蘇山・枕崎・屋久島・種子島・沖永良部・与那国島・石垣島・宮古島・那覇・南大東島）のみをシミュレーション誤差評価の対象とした。

また、気象官署および測候所の機器等の変更により統計データとして使用できないものは比較対象のデータから除いている（表 2-5 参照）。

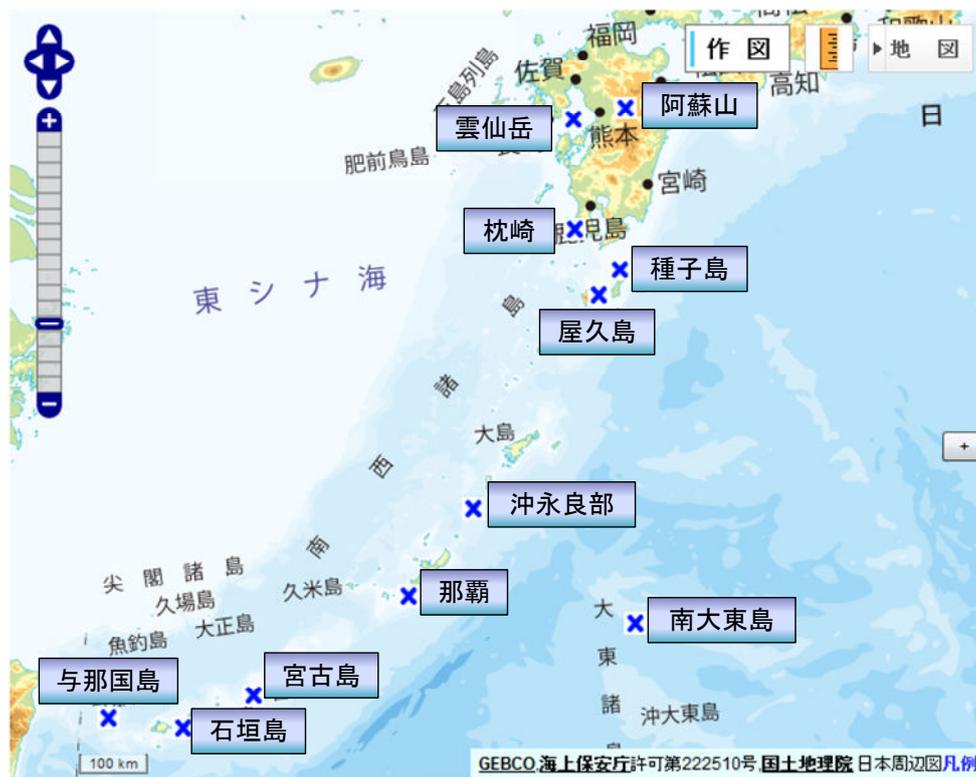


図 2-15 平均風速が 4.0[m/s]以上の地点
(国土地理院「地理院地図 (フラッシュ版)」にて作成)

表 2-5 気象官署の20年間の年平均風速[m/s]

年/観測所	雲仙岳	阿蘇山	枕崎	屋久島	種子島	沖永良部	与那国島	石垣島	宮古島	那覇	南大東島
1991	1.5	4.9	3.9	3.9	4.7	5.8	6.8	4.8	5	5.5	4
1992	1.4	4.7	3.6	3.8	4.7	5.3	6.6	4.6	4.8	5.2	3.7
1993	1.5	4.9	4	3.9	4.7	5.4	6.5	4.5	4.7	5.2	3.8
1994	1.5	4.6	4.1	3.9	4.5	5.3	6.4	4.7	4.7	5.1	3.7
1995	1.5	4.7	4.1	3.8	4.6	5.3	6.9	4.6	4.6	5.1	4
1996	1.4	4.8	4.2	3.7	4.6	5.5	6.9	4.8	4.7	5.3	4.7
1997	1.5	4.8	4.2	3.7	4.6	5.5	6.5	4.6	4.5	5.2	4.6
1998	1.4	4.5	3.9	3.4	4.2	5.1	6.6	4.5	4.5	5	4.4
1999	1.5	5	4.4	3.7	4.5	5.3	6.7	4.6	4.6	5.3	4.5
2000	1.4	4.7	4.2	3.7	4.5	5.5	6.8	4.7	4.7	5.4	4.6
2001	1.4	4.5	4.1	3.6	4.2	5.3	6.7	4.5	4.5	5.2	4.5
2002	1.8	4.6	4.3	4.9	4.3	5.6	6.1	4.3	4.4	5.2	4.4
2003	4.9	4.7	4.2	5.3	4.2	5.7	6.5	4.6	4.6	5.4	4.6
2004	4.8	4.6	4.3	5.4	4.3	6	6.8	5.3	5	5.4	4.8
2005	4.6	4.4	4.2	5.3	6.1	5.9	7	5.6	5	5.5	4.8
2006	4.8	4.5	4.1	5.2	5.5	5.7	6.7	5.2	4.7	5.2	4.5
2007	4.7	4.5	4.2	5.2	5.7	5.6	7	5.5	4.8	5.4	4.5
2008	4.5	4.2	3.9	5.1	5.4	5.2	6.9	5.2	4.5	4.9	4
2009	4.8	4.5	4	5	5.5	5.6	6.9	5.3	4.6	5.3	4.5
2010	4.9	4.8	4.3	4.9	5.8	5.8	6.6	5.3	4.6	5.3	4.7

※ 赤線は、観測場所の移転、観測方法の変更、測器の変更などにより、観測データがこの前後で均質でない可能性があることを示す（気象庁のホームページより）。そのため、本解析では、赤線を含む年以降を評価対象としている。赤線を含む年も評価対象から外している。

表 2-6 気象官署の位置と風速計の高さ

観測所	緯度		経度		海面上の高さ [m]	風速計の高さ [m]
	度	分	度	分		
雲仙岳	32	44.1	130	15	870	10.4
阿蘇山	32	52.8	131	4.4	1142	10
枕崎	31	16.3	130	17.5	30	10.5
屋久島	30	23.1	130	39.5	37	7
種子島	30	43.2	130	58.9	25	29.8
与那国島	24	28	123	0.6	30	14.3
石垣島	24	20.2	124	9.8	6	28.9
宮古島	24	47.6	125	16.7	40	13.5
那覇	26	12.4	127	41.2	28	47.8
沖永良部	27	25.9	128	42.3	27	10
南大東島	25	49.7	131	13.7	15	21.9

● シミュレーション誤差の分析

シミュレーション誤差は以下の式で求めた。

誤差

$$\text{Err}_i = \text{SIM}_i - \text{OBS}_i \quad (2-6)$$

OBS_i : 年平均風速 (気象官署)

SIM_i : 年平均風速 (シミュレーション値)

シミュレーション誤差の標準偏差

$$\sigma_{\text{シミュレーション誤差}} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\overline{\text{Err}} - \text{Err}_i)^2}{n}} \quad (2-7)$$

平均誤差

$$\overline{\text{Err}} = \frac{\sum_i^n (\text{SIM}_i - \text{OBS}_i)}{n} \quad (2-8)$$

n : 20年間,5地点の年平均実測値の有効なサンプル数.

※年平均風速は実測値・シミュレーション値ともに気象官署で測定された実測値の20年平均で規格化している。

シミュレーション誤差分析結果

以下に、実施したシミュレーション誤差分析の結果を示す。分析の結果得られたシミュレーション誤差の標準偏差 ($\sigma_{\text{シミュレーション誤差}}$: 6.0%) をシミュレーション自体の標準偏差 $\sigma_{\text{シミュレーション年変動}}$ に加味することで、年変動リスク (シミュレーション誤差も加味した年平均風速の標準偏差) を算出した。

シミュレーション誤差の平均値 (μ) : 1.0[%]

シミュレーション誤差の標準偏差 (σ) : 6.0[%]

※シミュレーション誤差は、平均風速に対する誤差の割合[%]で示す。

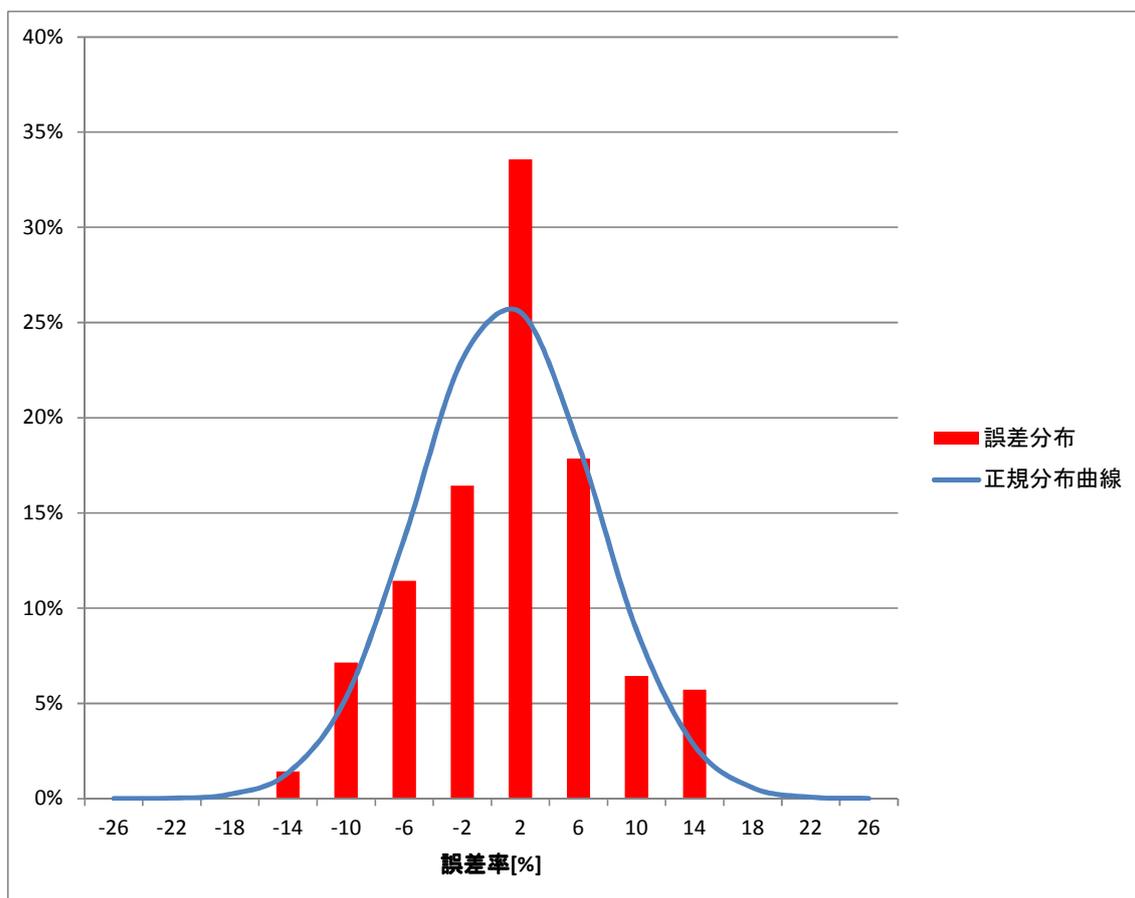


図 2-16 シミュレーション誤差頻度分布

横軸にシミュレーション誤差率[%] (誤差[m/s]を平均風速[m/s]で規格化した値) を示し、縦軸に頻度[%]を示す。青線は算出したシミュレーション誤差の平均値および標準偏差から算出した正規分布曲線を示す。

2.2.3. 20年間の年平均風速の解析結果

気象シミュレーションにより算出した1991年～2010年の20年間の風況データ（500mメッシュ・地上高80m）に基づき実施した年平均風速の解析結果を図2-17～図2-33に示す。

図2-17～図2-20に九州・沖縄エリア各領域の20年間の年平均風速を図示した。

図2-21～図2-24には、20年間の年平均風速に基づき算出した年平均風速の年変動リスク（ $\sigma_{\text{年変動リスク}}$ ）を図示した。この年変動リスクは、20年間の年平均風速に基づき算出したシミュレーション自体の年変動幅（ $\sigma_{\text{シミュレーション年変動幅}}$ ）だけでなくシミュレーション誤差の標準偏差（ $\sigma_{\text{シミュレーション誤差}}$ ）を加味した値である。一方、図2-25～図2-28には、シミュレーション誤差を加味していないシミュレーション自体の年変動幅（ $\sigma_{\text{シミュレーション年変動幅}}$ ）の分布を図示した。また、20年間の年平均風速の最大値および最小値をそれぞれ図2-29～図2-32および図2-33～図2-36に図示した。

- 20年間の年平均風速（九州）

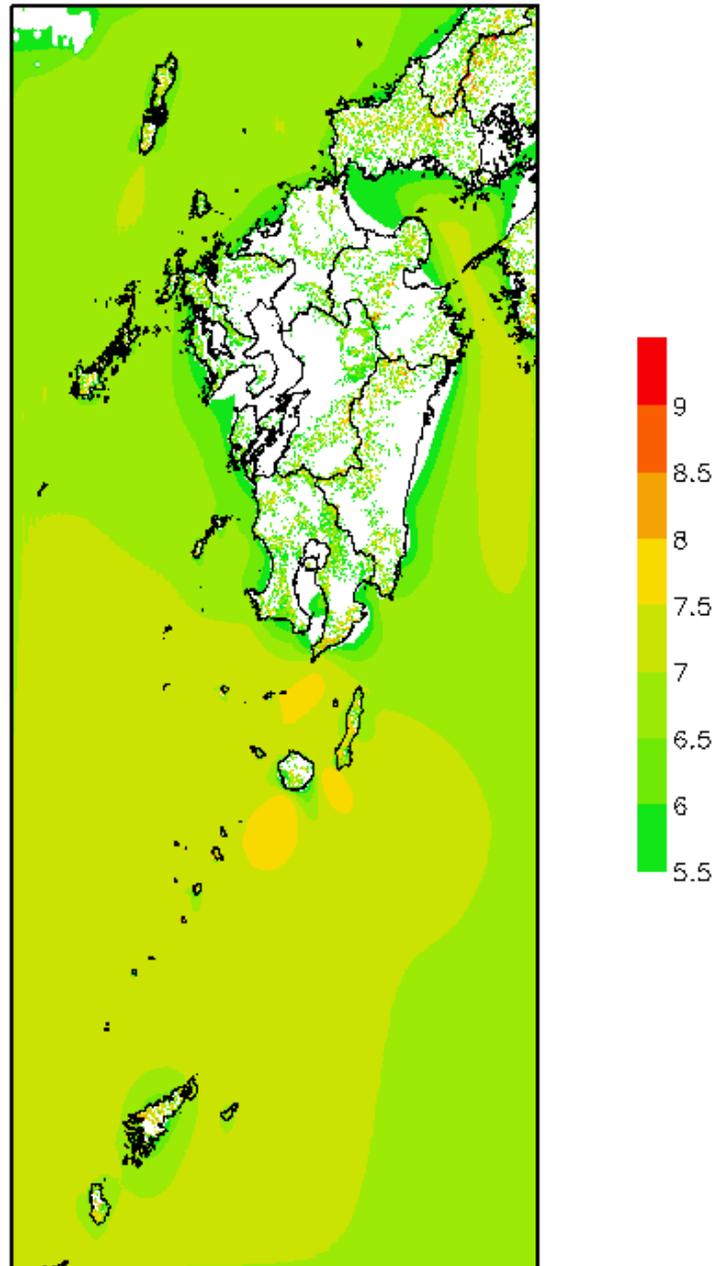


図 2-17 20年間の年平均風速（九州）[m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

- 20年間の年平均風速（沖縄①）

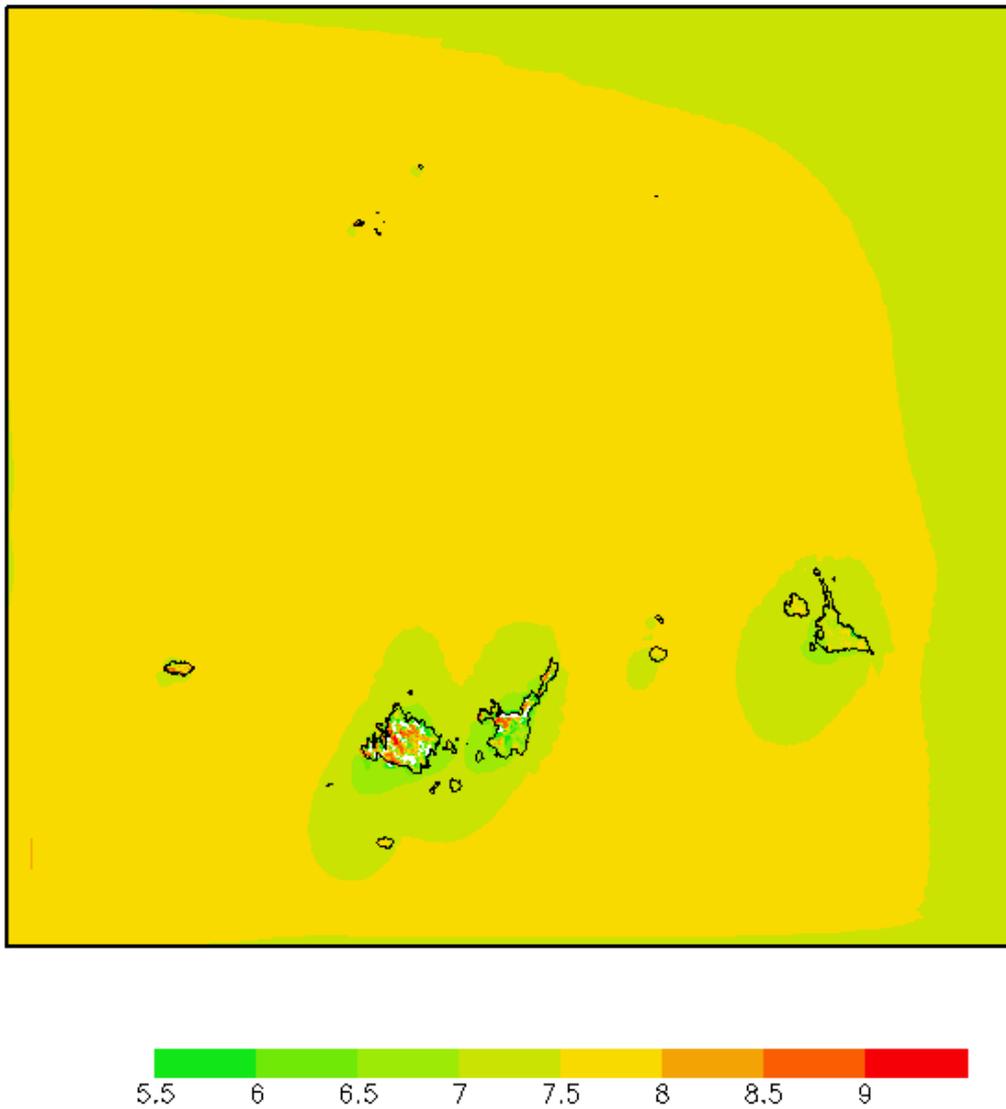


図 2-18 20年間の年平均風速（沖縄①） [m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

- 20年間の年平均風速（沖縄②）

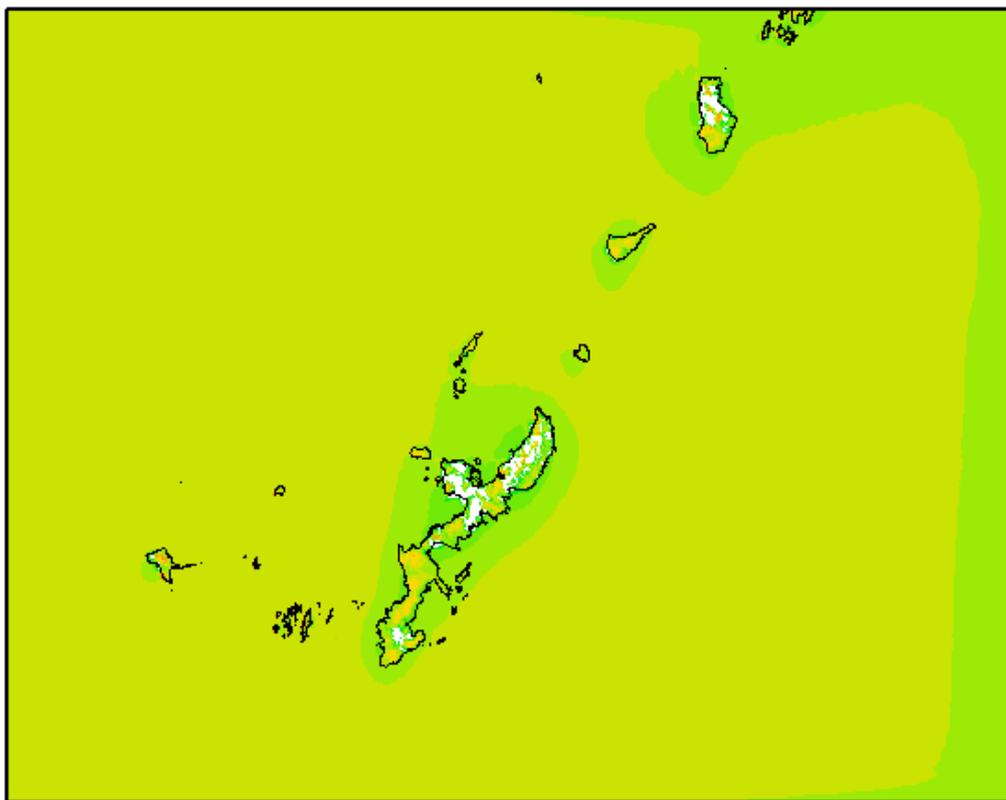


図 2-19 20年間の年平均風速（沖縄②） [m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

- 20年間の年平均風速（沖縄③）

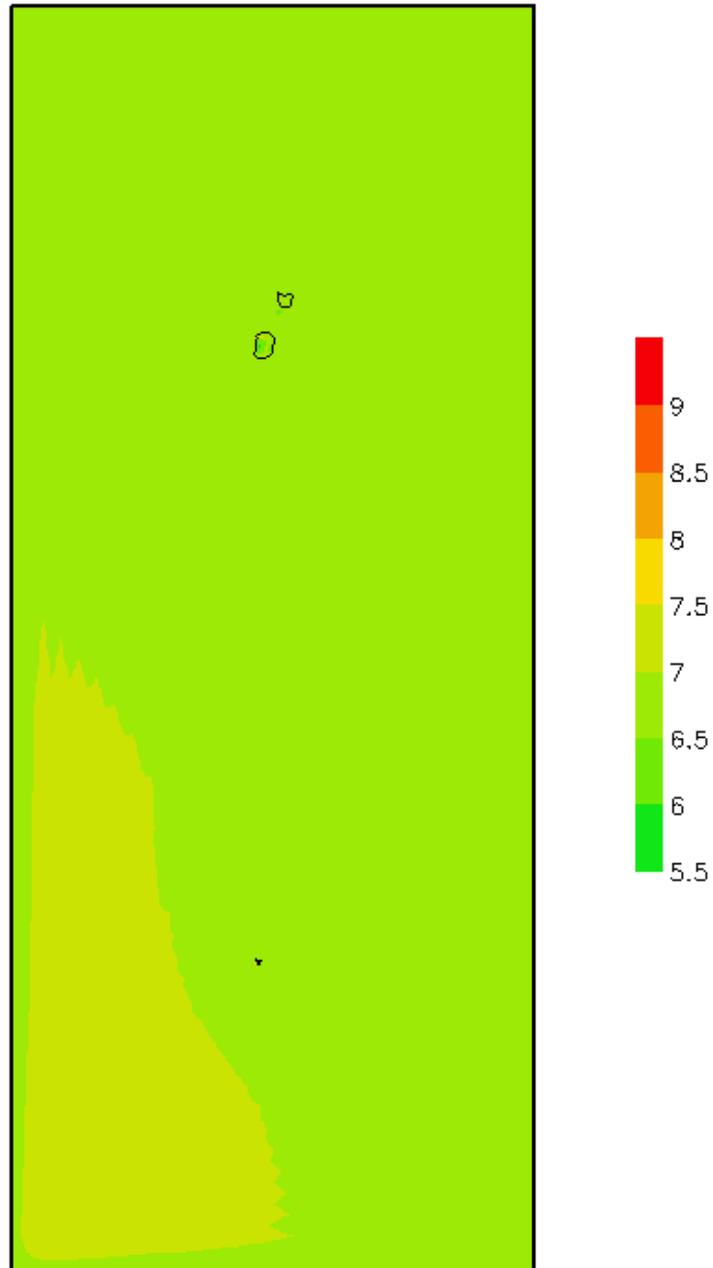


図 2-20 20年間の年平均風速（沖縄③） [m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

- 年平均風速の年変動リスク ($\sigma_{\text{年変動リスク}}$) (九州)

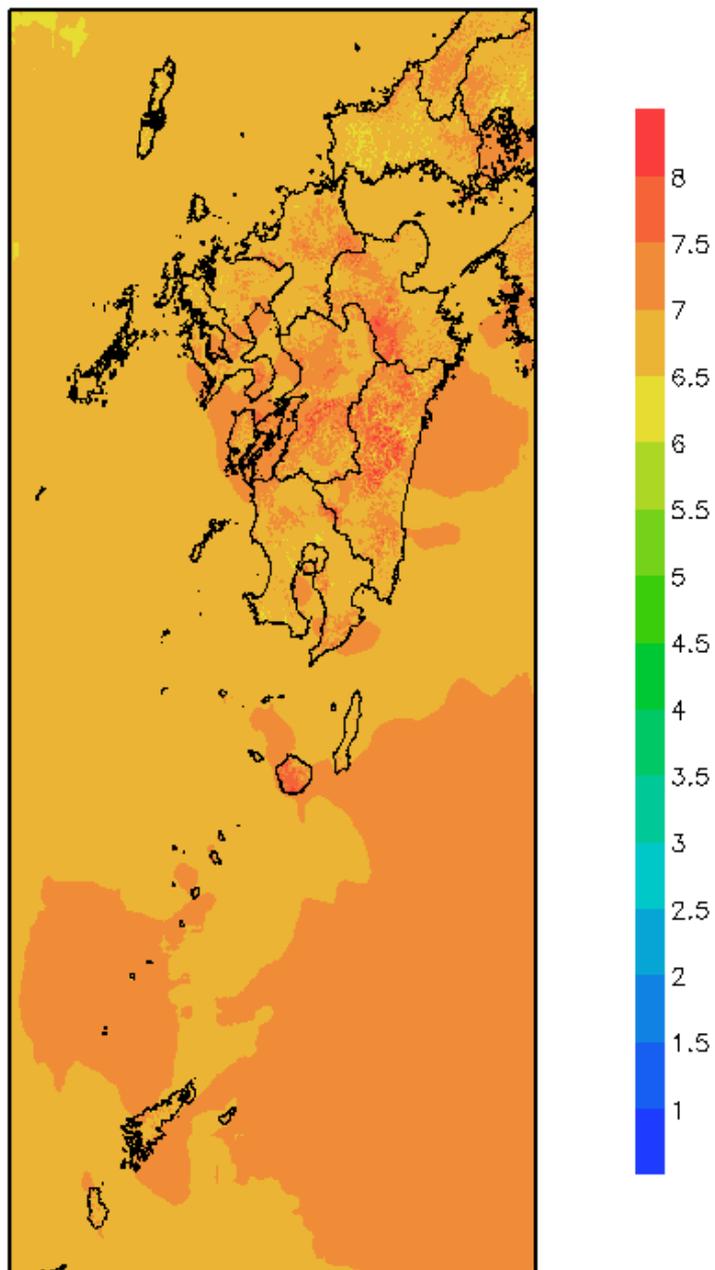


図 2-21 年変動リスク (九州) [%]

シミュレーション自体の20年間の年平均風速の標準偏差にシミュレーション誤差の標準偏差を加味。各メッシュにおける標準偏差を、20年間の年平均風速で規格化。

- 年平均風速の年変動リスク ($\sigma_{\text{年変動リスク}}$) (沖縄①)

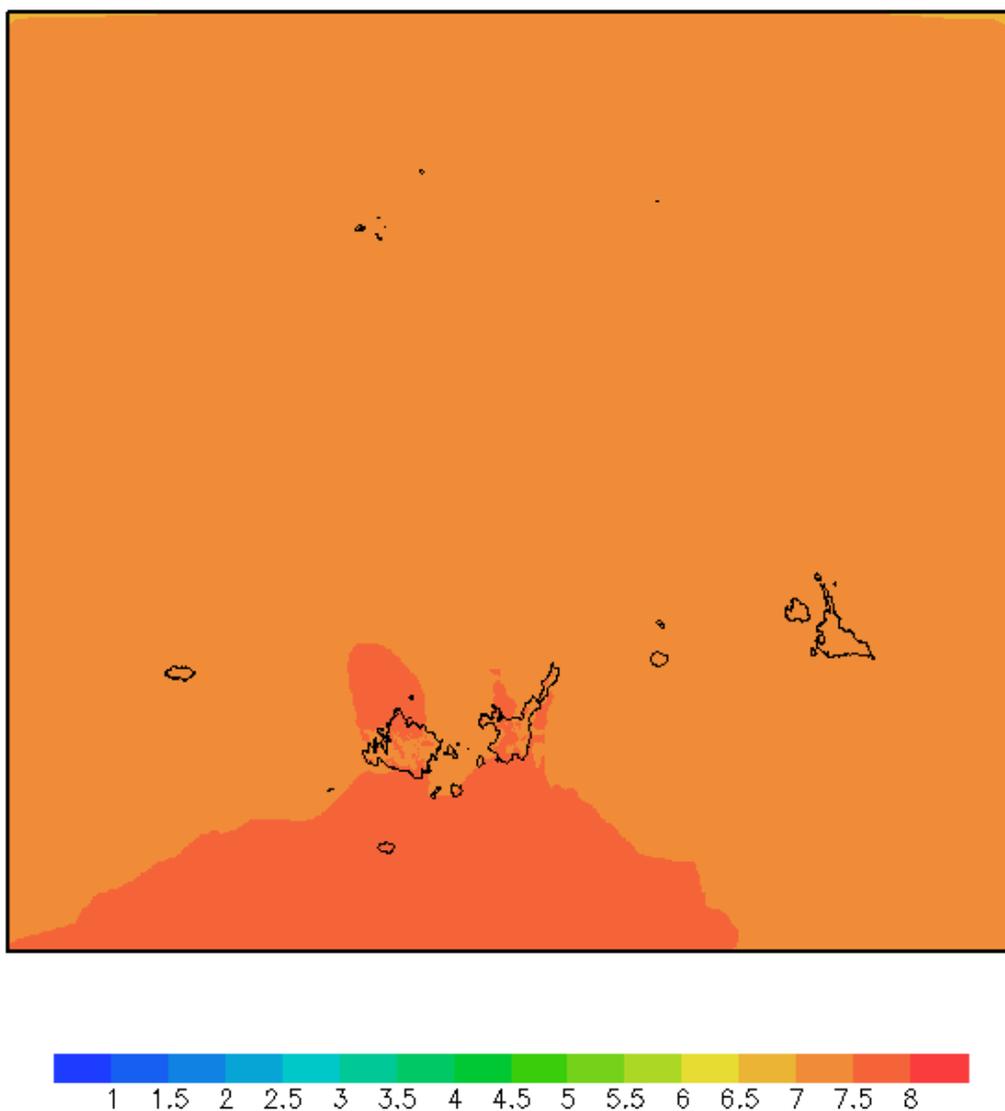


図 2-22 年変動リスク (沖縄①) [%]

シミュレーション自体の20年間の年平均風速の標準偏差にシミュレーション誤差の標準偏差を加味。各メッシュにおける標準偏差を、20年間の年平均風速で規格化。

- 年平均風速の年変動リスク ($\sigma_{\text{年変動リスク}}$) (沖縄②)

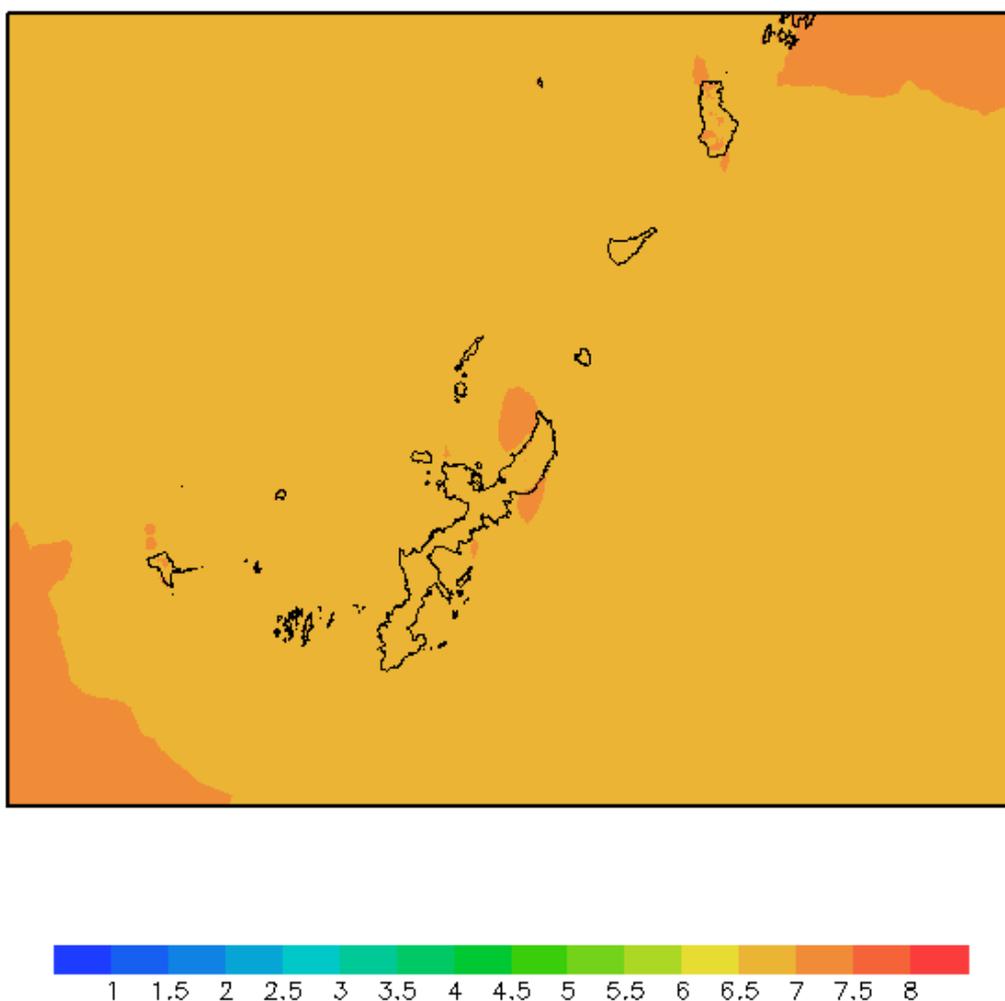


図 2-23 年変動リスク (沖縄②) [%]

シミュレーション自体の20年間の年平均風速の標準偏差にシミュレーション誤差の標準偏差を加味。各メッシュにおける標準偏差を、20年間の年平均風速で規格化。

- 年平均風速の年変動リスク ($\sigma_{\text{年変動リスク}}$) (沖縄③)

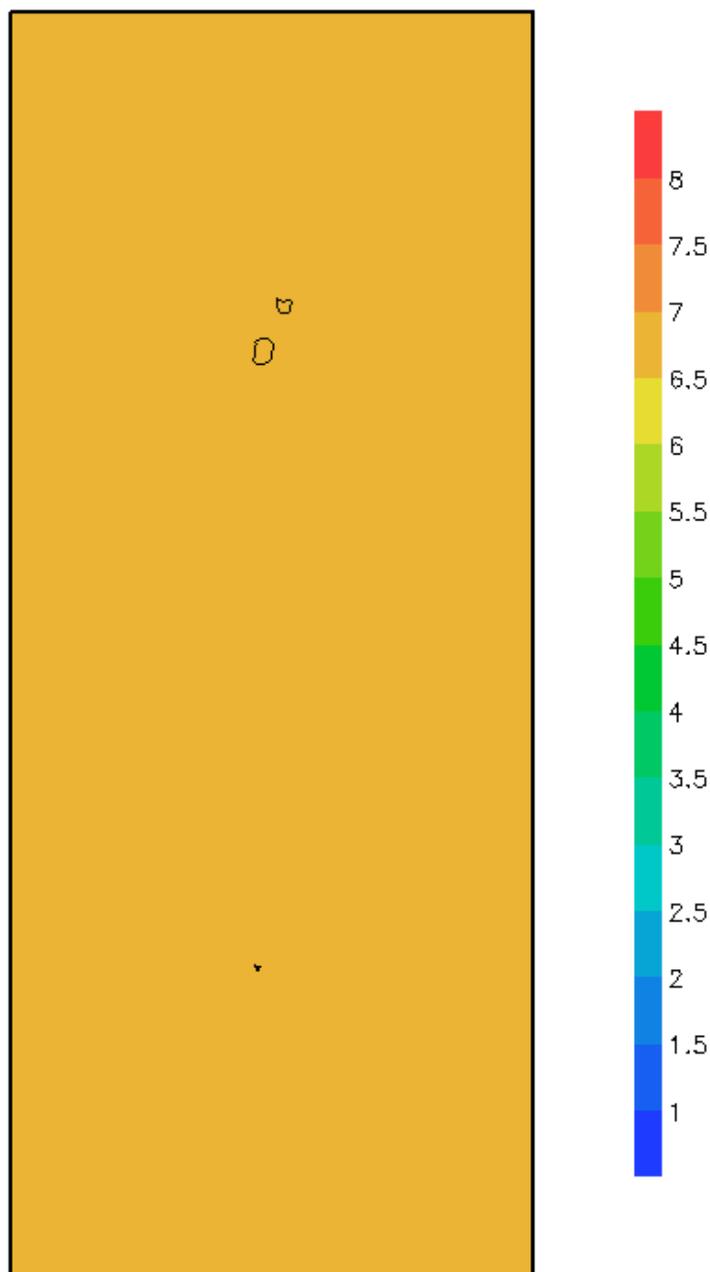


図 2-24 年変動リスク (沖縄③) [%]

シミュレーション自体の20年間の年平均風速の標準偏差にシミュレーション誤差の標準偏差を加味。各メッシュにおける標準偏差を、20年間の年平均風速で規格化。

- シミュレーション年変動幅 ($\sigma_{\text{シミュレーション年変動幅}}$) (九州)

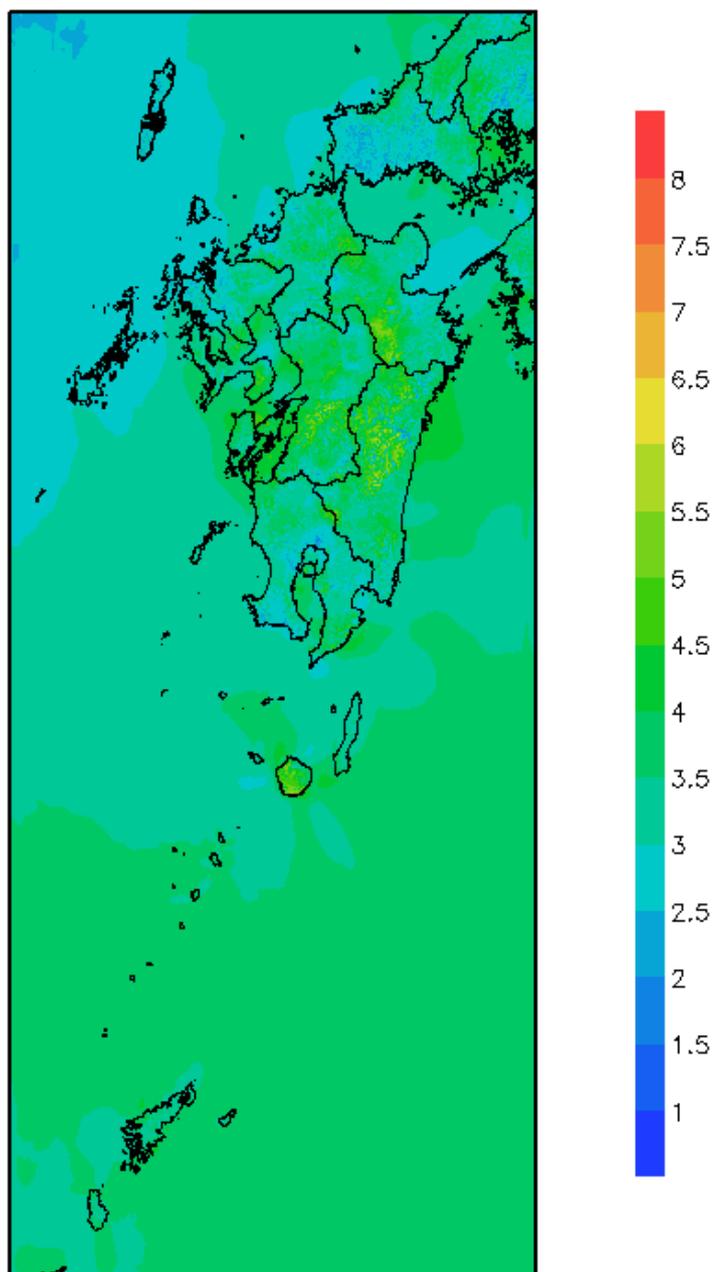


図 2-25 シミュレーション年変動幅 (九州) [%]
シミュレーション自体の 20 年間の年平均風速の標準偏差。
各メッシュにおける標準偏差を、20 年間の年平均風速で規格化。

- シミュレーション年変動幅 ($\sigma_{\text{シミュレーション年変動}}$) (沖縄①)

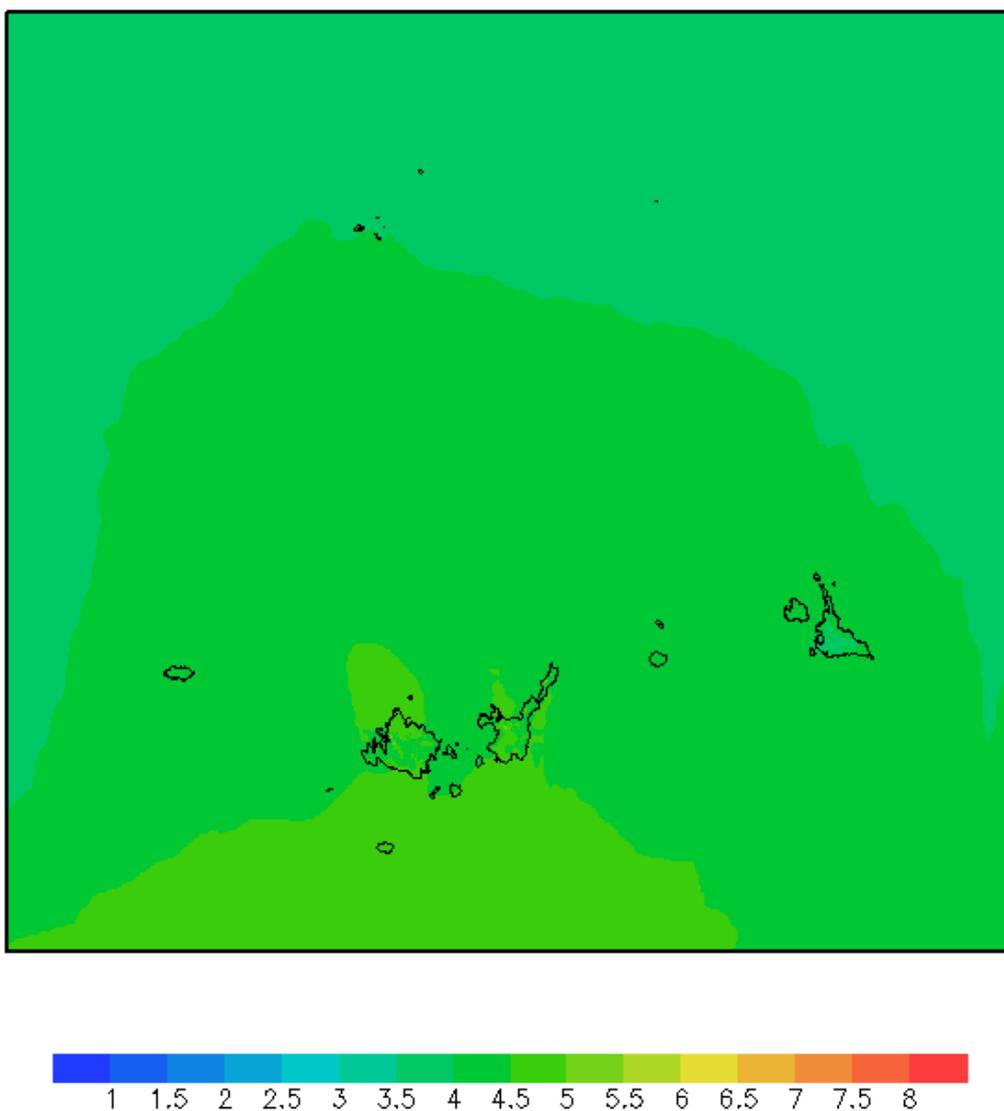


図 2-26 シミュレーション年変動幅 (沖縄①) [%]
シミュレーション自体の 20 年間の年平均風速の標準偏差。
各メッシュにおける標準偏差を、20 年間の年平均風速で規格化。

- シミュレーション年変動幅 ($\sigma_{\text{シミュレーション年変動幅}}$) (沖縄②)

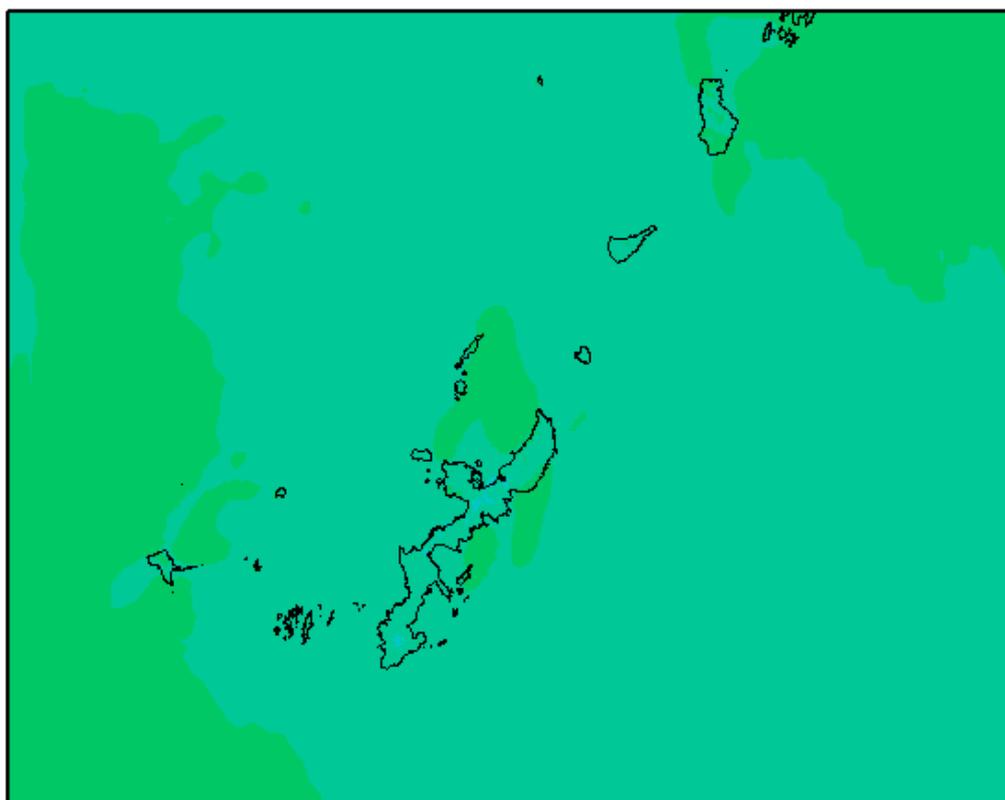


図 2-27 シミュレーション年変動幅 (沖縄②) [%]
シミュレーション自体の 20 年間の年平均風速の標準偏差。
各メッシュにおける標準偏差を、20 年間の年平均風速で規格化。

- シミュレーション年変動幅 ($\sigma_{\text{シミュレーション年変動幅}}$) (沖縄③)

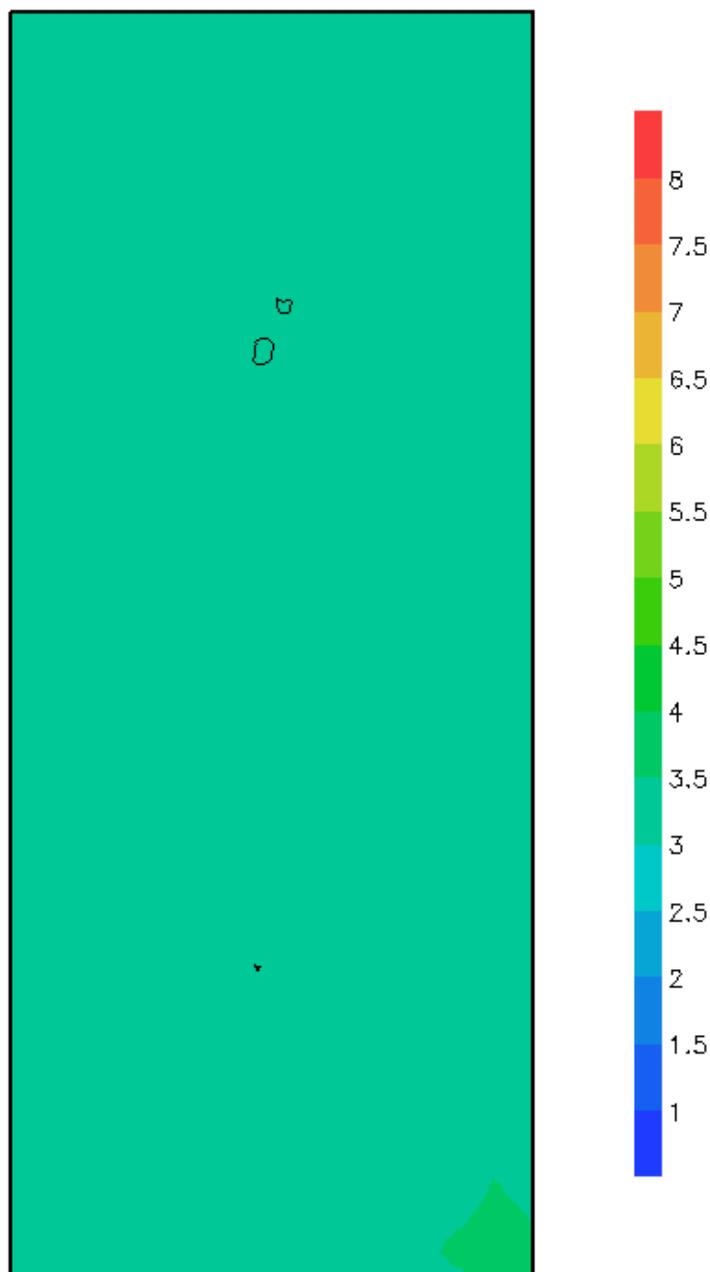


図 2-28 シミュレーション年変動幅 (沖縄③) [%]
 シミュレーション自体の 20 年間の年平均風速の標準偏差。
 各メッシュにおける標準偏差を、20 年間の年平均風速で規格化。

- 20年間の年平均風速の最大値（九州）

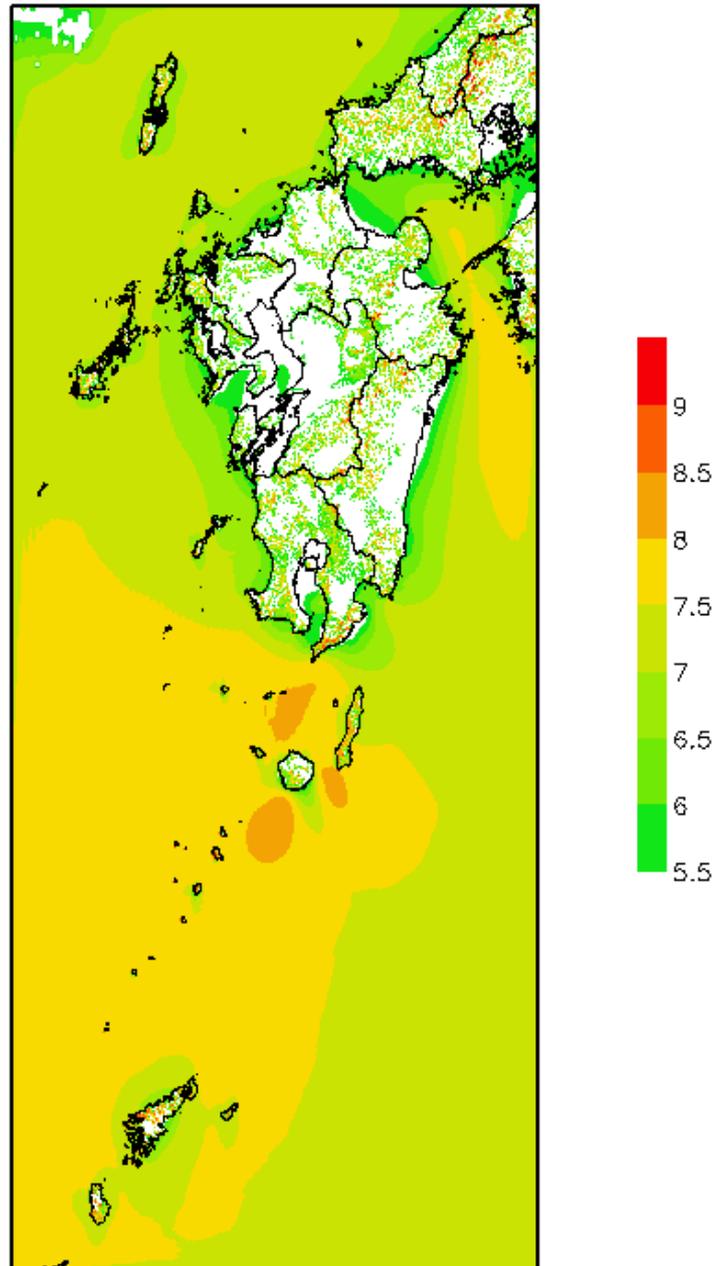


図 2-29 20年間の年平均風速の最大値（九州）[m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

- 20年間の年平均風速の最大値（沖縄①）

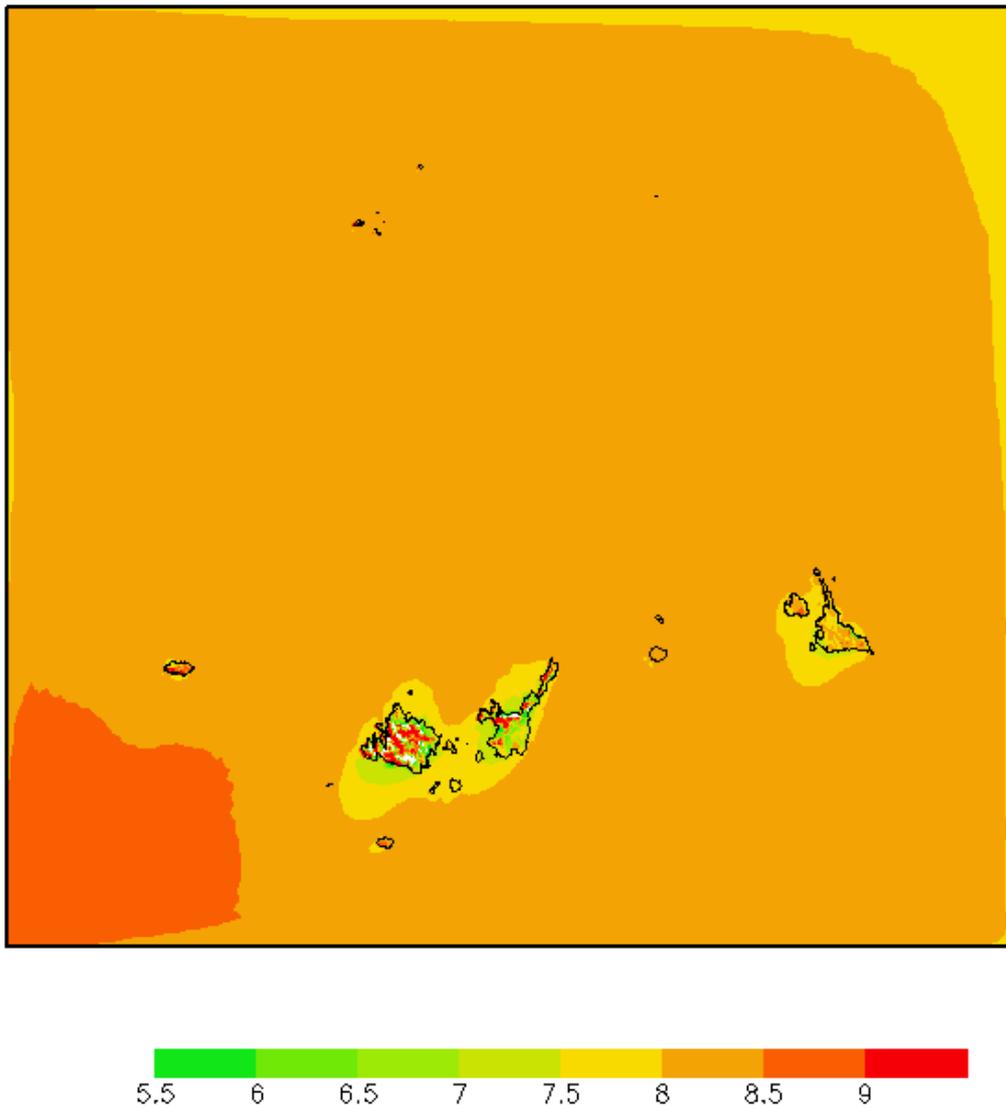


図 2-30 20年間の年平均風速の最大値（沖縄①） [m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

- 20年間の年平均風速の最大値（沖縄②）

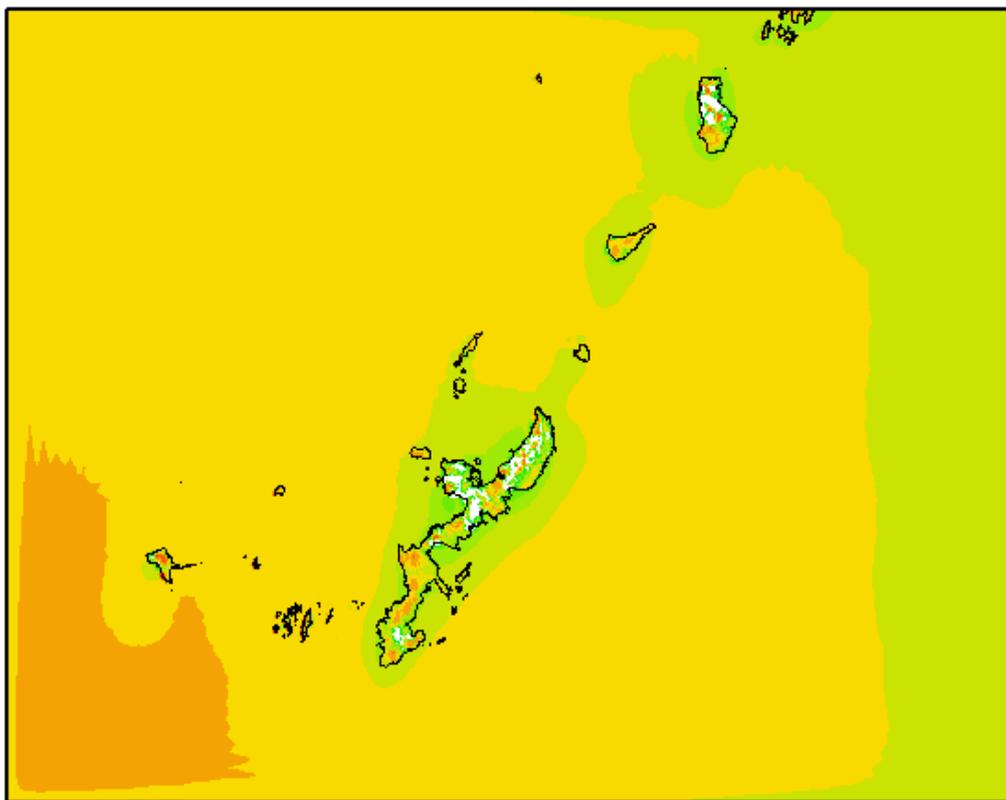


図 2-31 20年間の年平均風速の最大値（沖縄②）[m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

- 20年間の年平均風速の最大値（沖縄③）

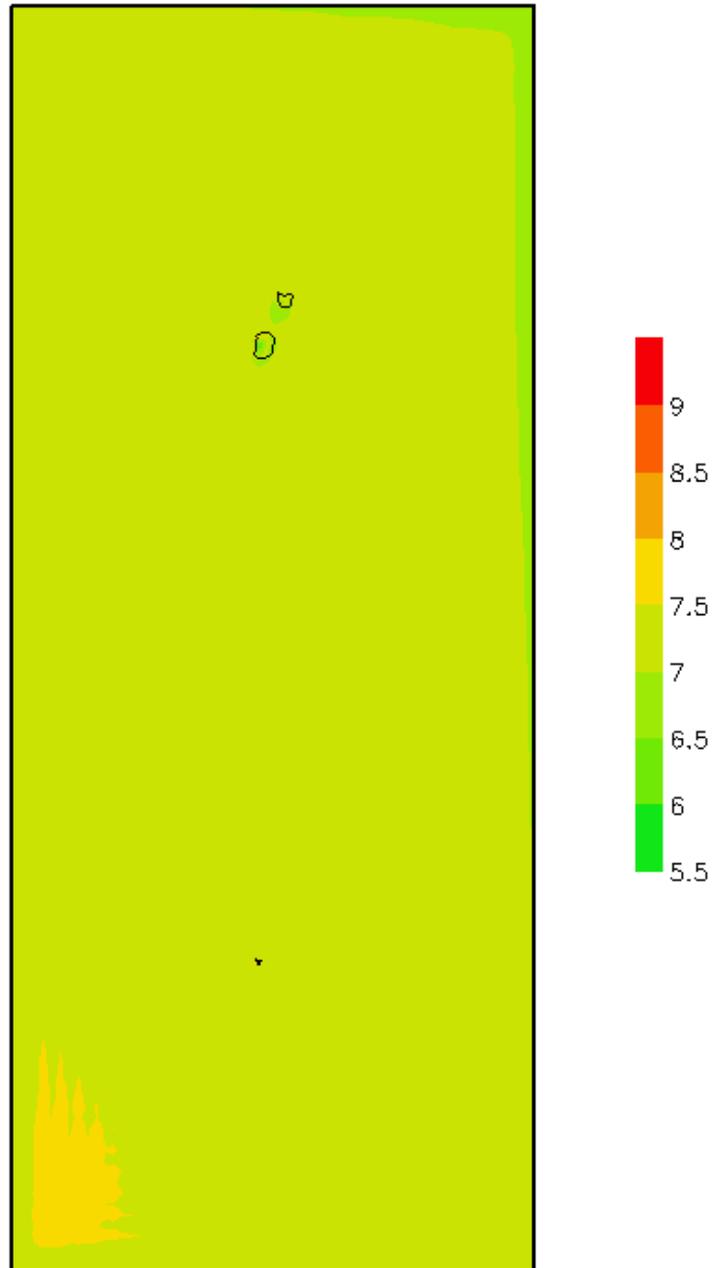


図 2-32 20年間の年平均風速の最大値（沖縄③） [m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

- 20年間の年平均風速の最小値（九州）

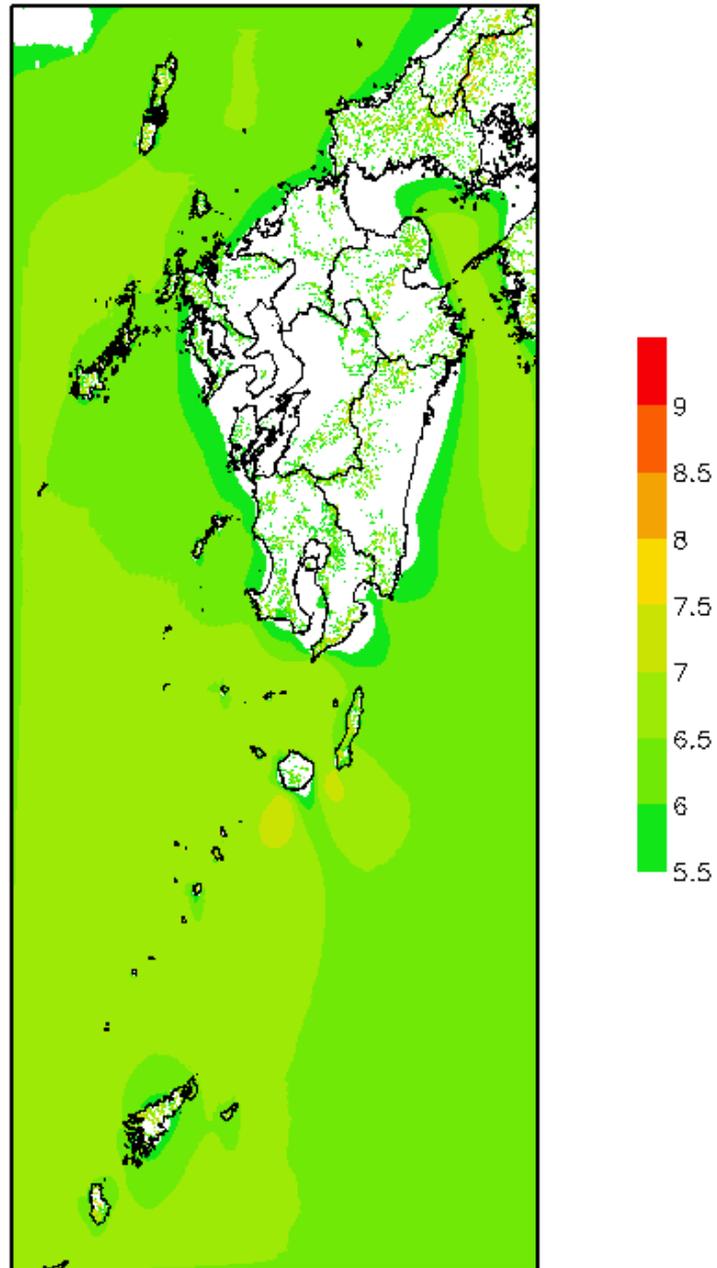


図 2-33 20年間の年平均風速の最小値（九州）[m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

- 20年間の年平均風速の最小値（沖縄①）

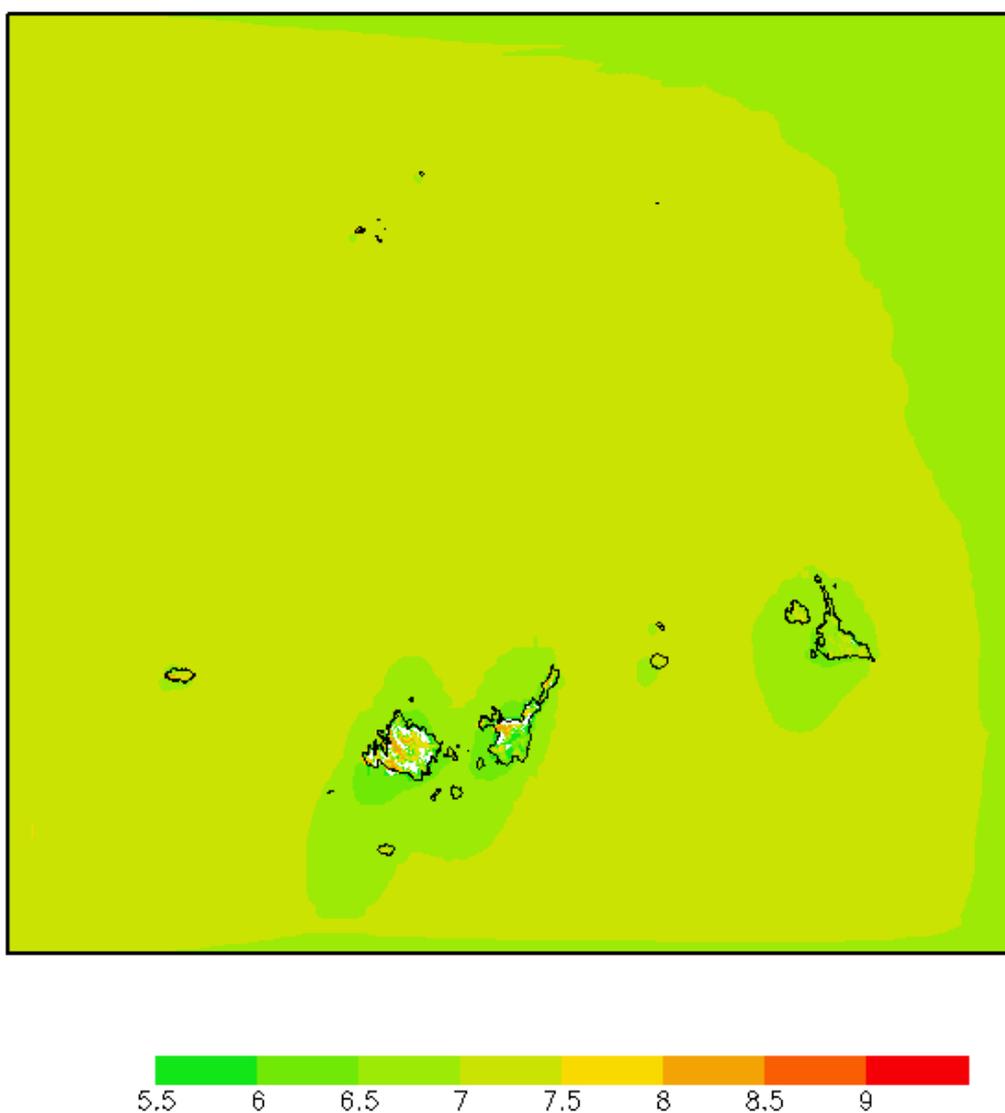


図 2-34 20年間の年平均風速の最小値（沖縄①） [m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

- 20年間の年平均風速の最小値（沖縄②）

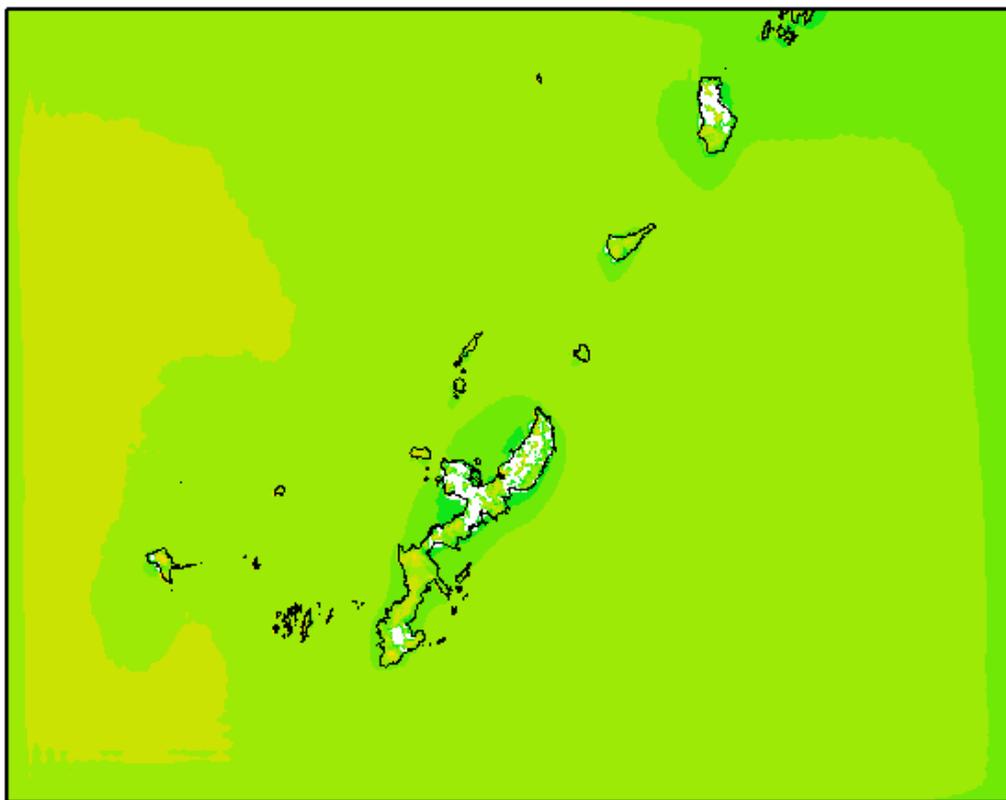


図 2-35 20年間の年平均風速の最小値（沖縄②） [m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

- 20年間の年平均風速の最小値（沖縄③）

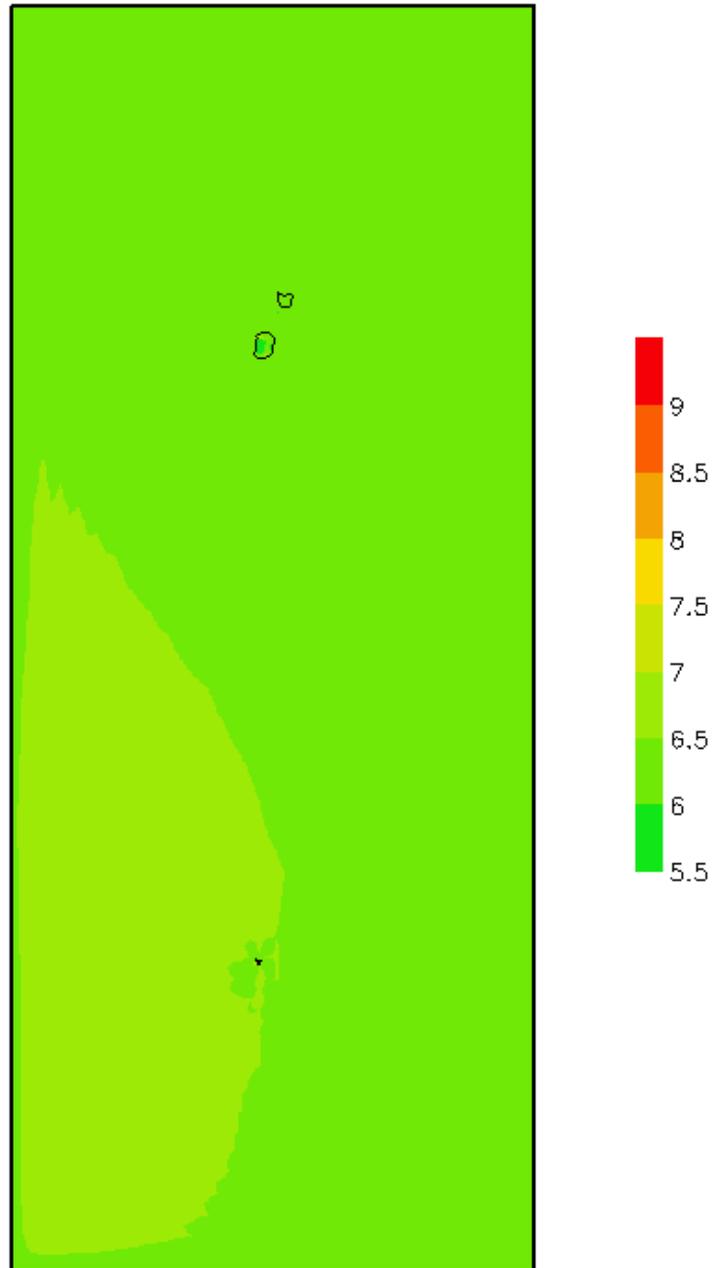


図 2-36 20年間の年平均風速の最小値（沖縄③） [m/s]
風速 5.5m/s 以上のメッシュのみ色塗りした。

2.2.4. 九州・沖縄地方の長期風況トレンドの考察

気象シミュレーションにより算出した 1991 年～2010 年の 20 年間の風況データ（500m メッシュ・地上高 80m）に基づき、その年平均風速の長期トレンドに関する考察を実施した。

九州・沖縄地方の風況にどのような年変動があるかを考察するために、九州・沖縄エリア全域（図 2-17～図 2-20 の 4 領域の合計）、九州エリア（図 2-17 の領域）および沖縄エリア（図 2-18～図 2-20 の 3 領域の合計）のそれぞれについて年平均風速の長期トレンドを調べた。図 2-37 および表 2-7 に 1991 年～2010 年の 20 年間の九州・沖縄エリア全域で平均した年平均風速の年変動を、図 2-38 および表 2-8 に九州エリアで平均した年平均風速の年変動を、図 2-39 および表 2-9 に沖縄エリアで平均した年平均風速の年変動をそれぞれ示す。

九州・沖縄エリア全域の全体的な傾向としては、過去 20 年間においては正の風況トレンド（年平均風速が強くなるトレンド）がみられる（回帰直線の傾きは 0.0023、20 年間でおおよそ 4%の上昇）。年変動については、20 年のうちの後半になるにつれて変動幅が大きくなる傾向になることが分かった。1991 年から 1997 年までは約 7%の変動幅（-5%から+2%）、1998 年から 2004 年までは約 10%の変動幅（-6%から+4%）、2005 年から 2010 年までは約 13%の変動幅（-6%から+7%）であった。

九州エリアの全体的な傾向としては、やや緩やかな正の風況トレンドがあるが、九州・沖縄エリア全体と比べるとかなり傾向は低い（回帰直線の傾きは 0.0005、20 年間でおおよそ 1%の上昇）。年変動については、全般的に-4%から+4%の範囲に収まっているが、2008 年は-9%と突出して低い年平均風速となっている。これが、九州・沖縄エリア全域にて後半で変動幅が大きくなっている要因の一つと考えられる。

沖縄エリアの全体的な傾向としては、九州・沖縄エリア全域よりもさらに強い正の風況トレンドがみられる（回帰直線の傾きは 0.0029、20 年間でおおよそ 5%の上昇）。逆に言うと、沖縄エリアのこの強い正のトレンドが、九州・沖縄エリア全域の正のトレンドの主要因となっているといえる。年変動については、20 年間うちの中盤までの期間と後半以降の期間のそれぞれでは 10%以内の変動幅に収まっているが（1991 年から 2002 年までは-5%から+3%、2003 年から 2010 年までは-3%から+7%）、後半部分において年平均風速が全体的に上がっている傾向がみられ、これが強い正のトレンドを引き起こす要因と考えられる。

図 2-40～図 2-119 に 1991 年～2010 年の各年毎の年平均風速に対し、20 年間平均風速からの年平均風速の偏差に関する水平分布を領域毎に図示する。これらの図から、地域によって風況のトレンドが異なっていることが分かった。特に、目立った傾向としては、九州の本土と、沖縄も含んだ島嶼部（海域）で偏差が逆のパターンとなっている例が多く見受けられた（1993 年、1995 年、1997 年、2002 年、2007 年（本土で正の偏差、島嶼部で負の偏差）、1996 年、2000 年、2006 年、2009 年（本土で負の偏差、島嶼部で正の偏差））。

九州・沖縄エリア全域年平均風速の年変化

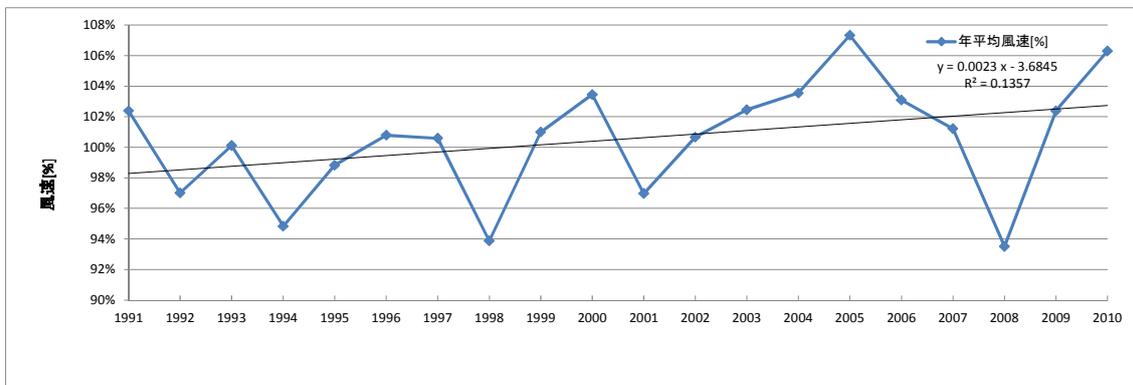


図 2-37 九州・沖縄エリア全域年平均風速の年変化[%]
 風速は 20 年間の九州・沖縄エリア全域平均風速で規格化した。

表 2-7 九州・沖縄エリア全域年平均風速
 年平均風速[m/s] (2 列目) および
 20 年間の年平均風速の平均値で規格化した値[%] (3 列目) を示す。

年	年平均風速[m/s]	年平均風速[%]
1991	7.04	102%
1992	6.67	97%
1993	6.88	100%
1994	6.52	95%
1995	6.79	99%
1996	6.93	101%
1997	6.91	101%
1998	6.45	94%
1999	6.94	101%
2000	7.11	103%
2001	6.66	97%
2002	6.92	101%
2003	7.04	102%
2004	7.12	104%
2005	7.38	107%
2006	7.08	103%
2007	6.96	101%
2008	6.43	94%
2009	7.04	102%
2010	7.31	106%

九州エリア年平均風速の年変化

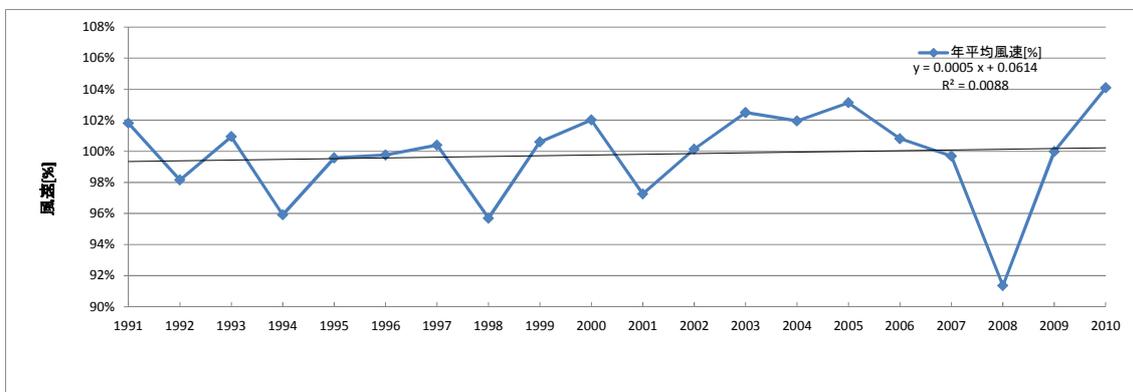


図 2-38 九州エリア年平均風速の年変化[%]
 風速は 20 年間の九州エリア平均風速で規格化した。

表 2-8 九州エリア年平均風速
 年平均風速[m/s] (2 列目) および
 20 年間の年平均風速の平均値で規格化した値[%] (3 列目) を示す。

年	年平均風速[m/s]	年平均風速[%]
1991	6.75	102%
1992	6.50	98%
1993	6.69	101%
1994	6.35	96%
1995	6.60	100%
1996	6.61	100%
1997	6.65	100%
1998	6.34	96%
1999	6.67	101%
2000	6.76	102%
2001	6.44	97%
2002	6.63	100%
2003	6.79	102%
2004	6.75	102%
2005	6.83	103%
2006	6.68	101%
2007	6.60	100%
2008	6.05	91%
2009	6.62	100%
2010	6.90	104%

沖縄エリア年平均風速の年変化

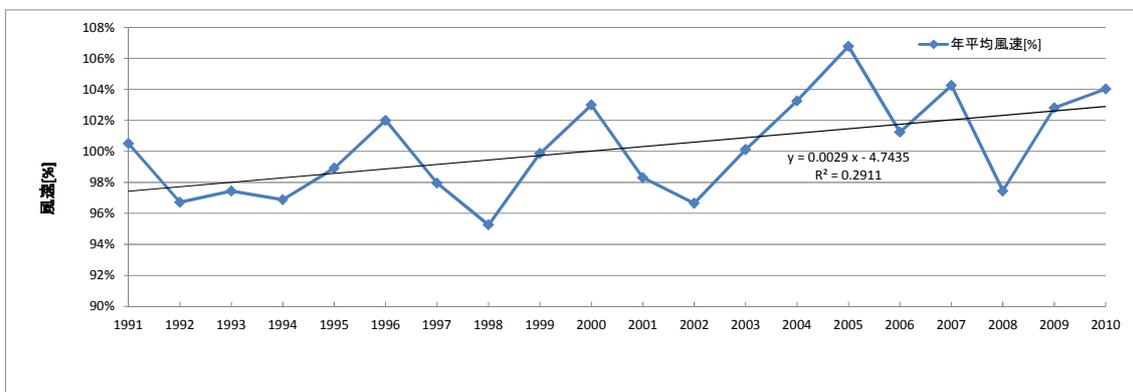


図 2-39 沖縄エリア年平均風速の年変化[%]
 風速は 20 年間の沖縄エリア平均風速で規格化した。

表 2-9 沖縄エリア年平均風速
 年平均風速[m/s] (2 列目) および
 20 年間の年平均風速の平均値で規格化した値[%] (3 列目) を示す。

年	年平均風速[m/s]	年平均風速[%]
1991	7.30	101%
1992	7.03	97%
1993	7.08	97%
1994	7.04	97%
1995	7.19	99%
1996	7.41	102%
1997	7.12	98%
1998	6.92	95%
1999	7.25	100%
2000	7.48	103%
2001	7.14	98%
2002	7.02	97%
2003	7.27	100%
2004	7.50	103%
2005	7.76	107%
2006	7.35	101%
2007	7.57	104%
2008	7.08	97%
2009	7.47	103%
2010	7.56	104%

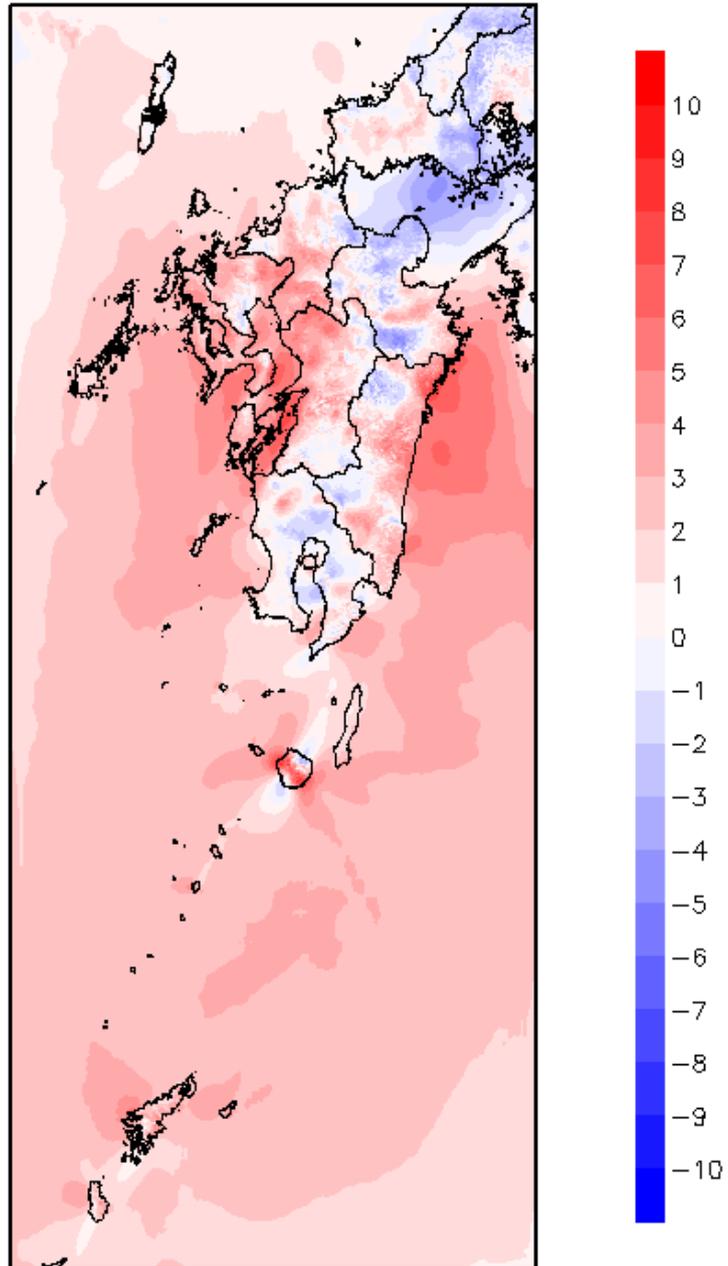


図 2-40 1991 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (九州) [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

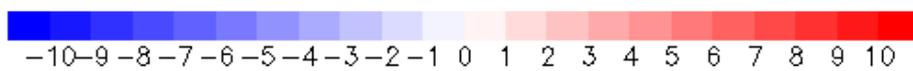
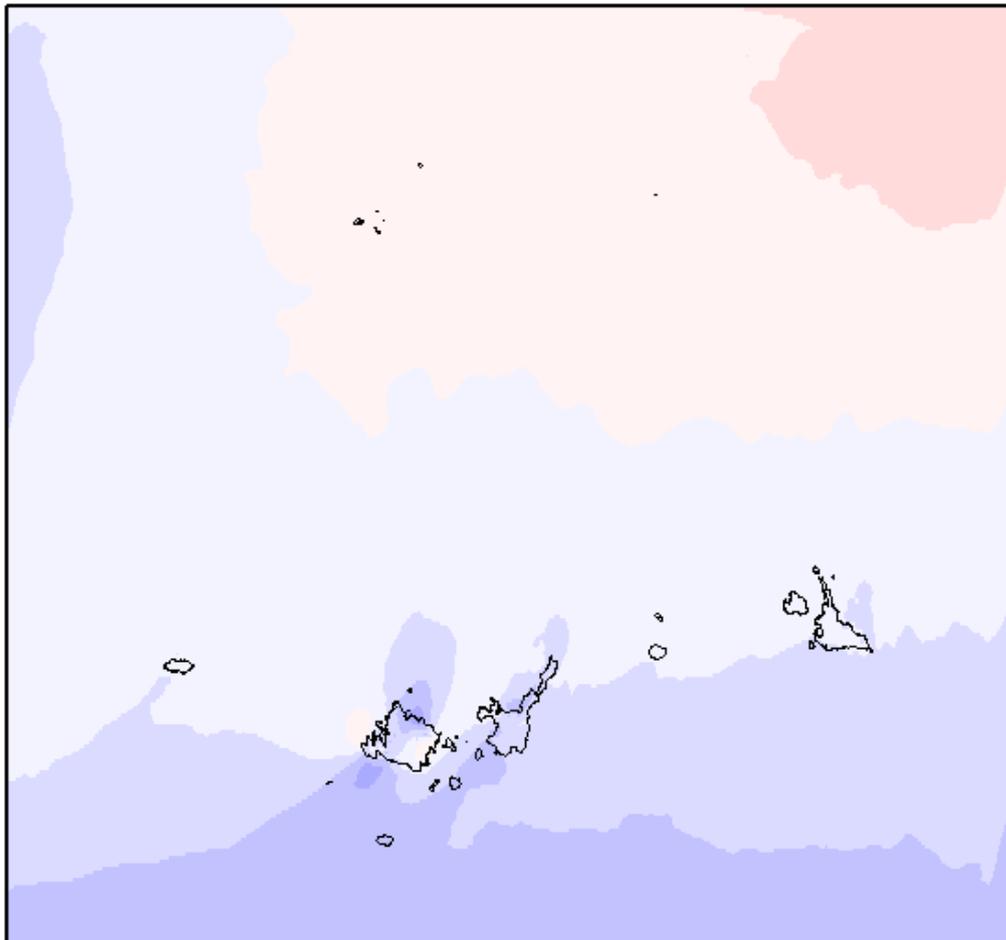


図 2-41 1991 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

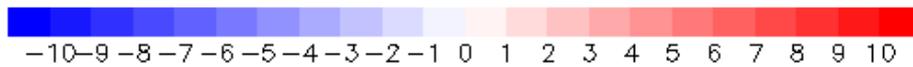
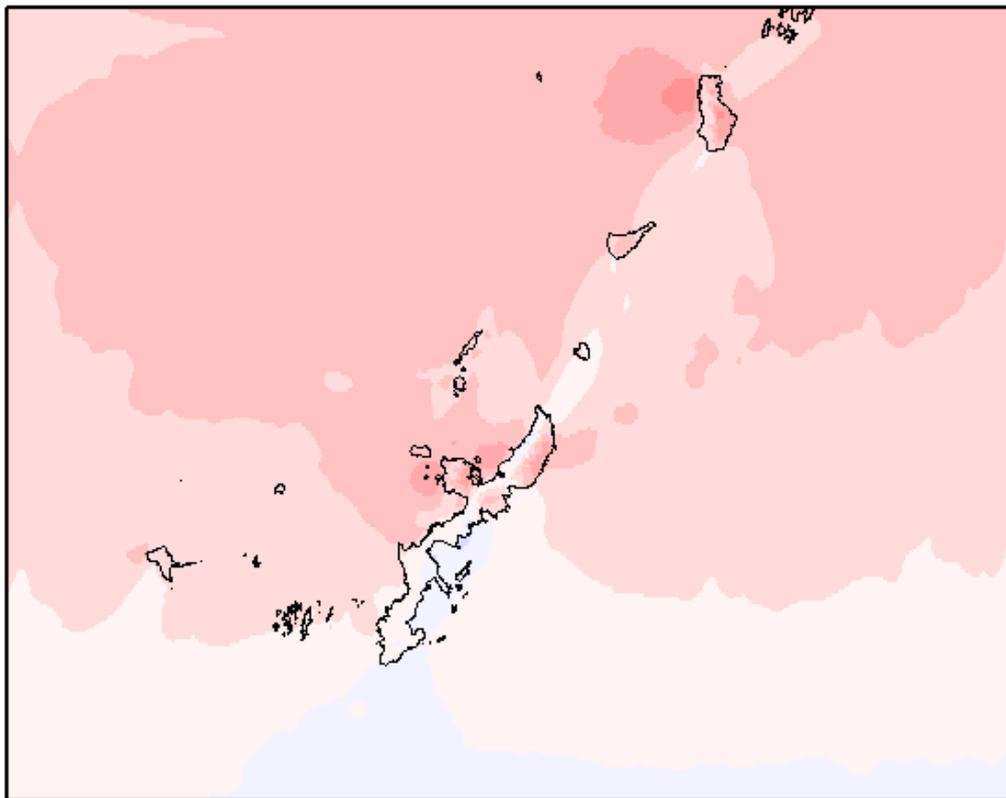


図 2-42 1991 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

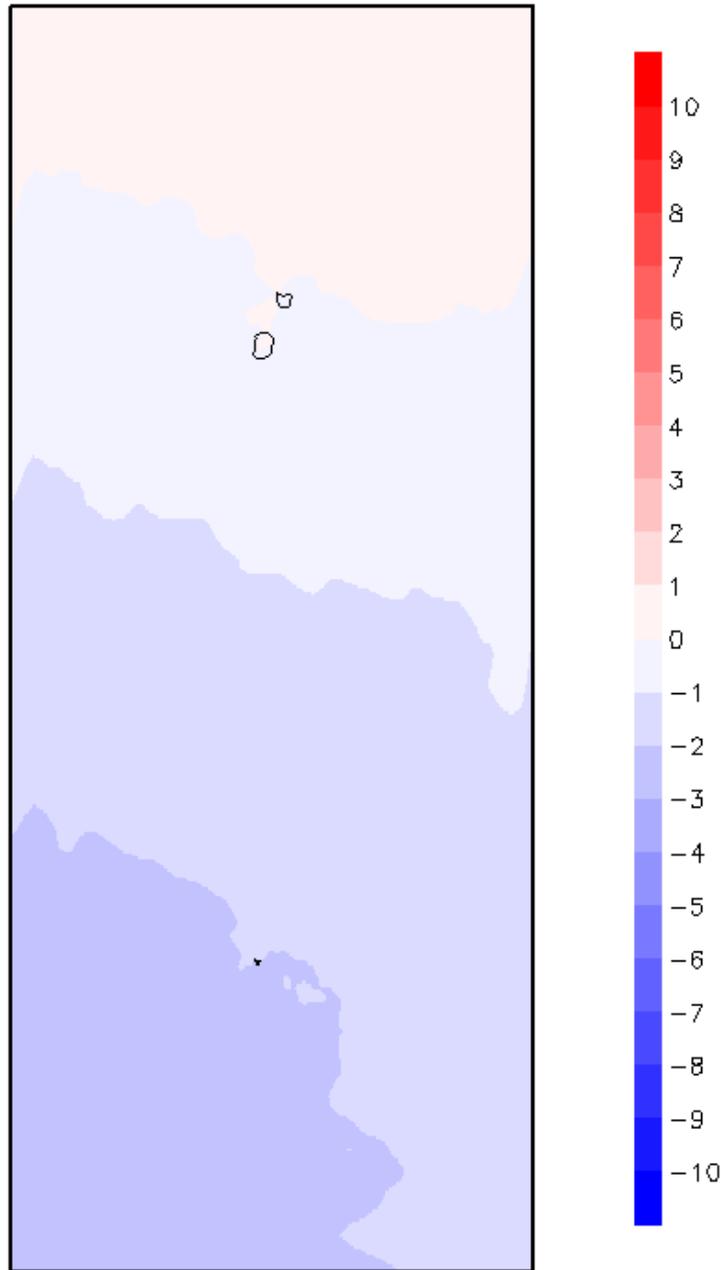


図 2-43 1991 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄③） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

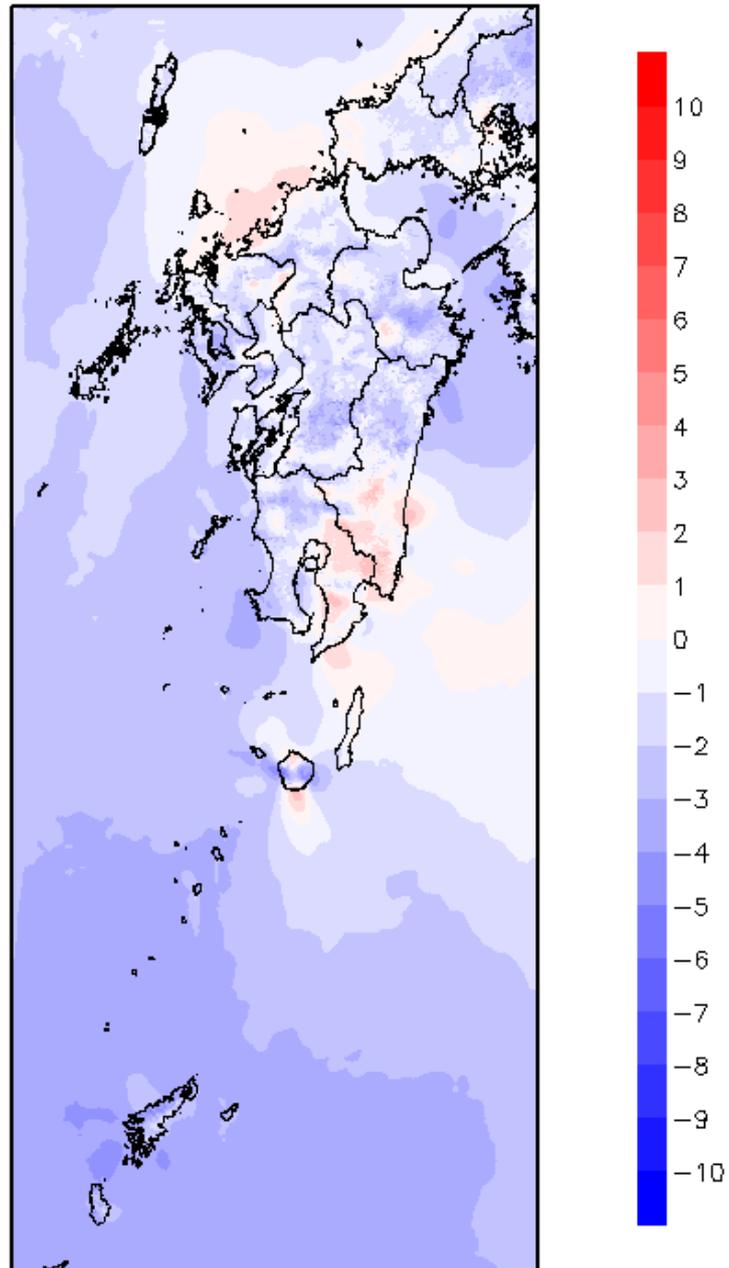


図 2-44 1992 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（九州）[%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

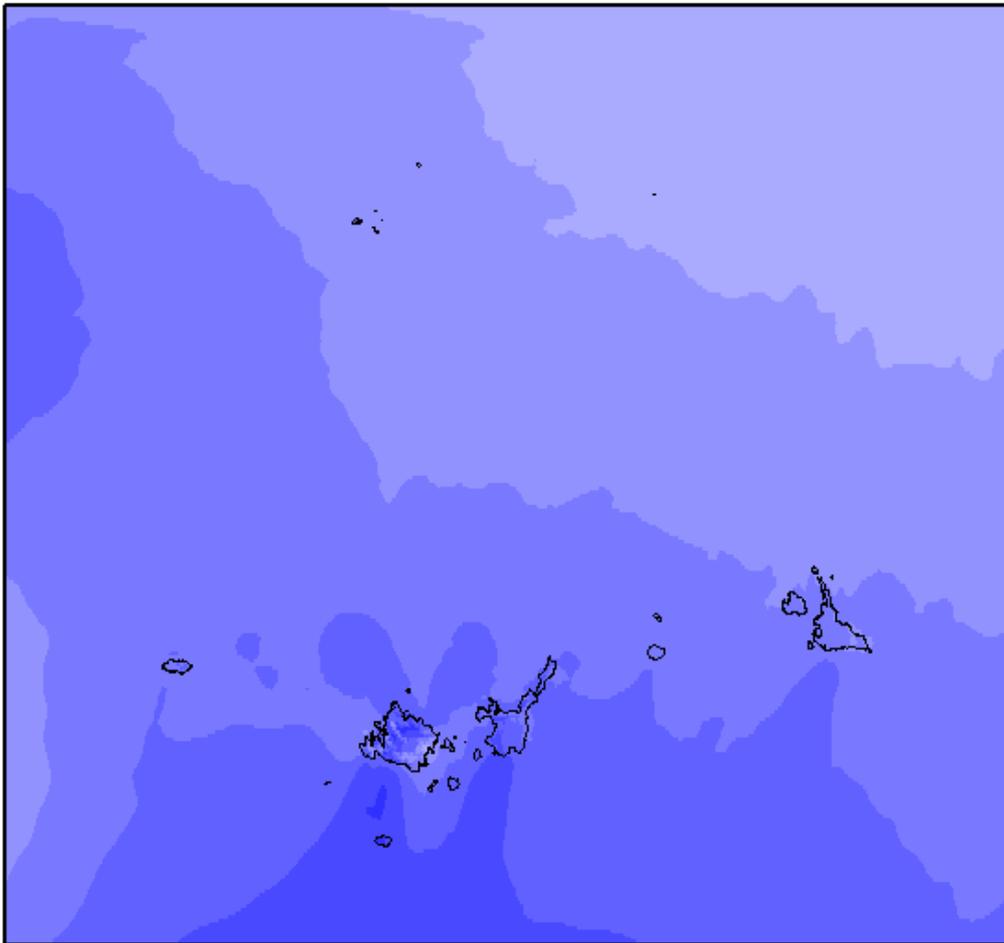


図 2-45 1992 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

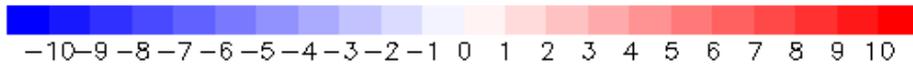
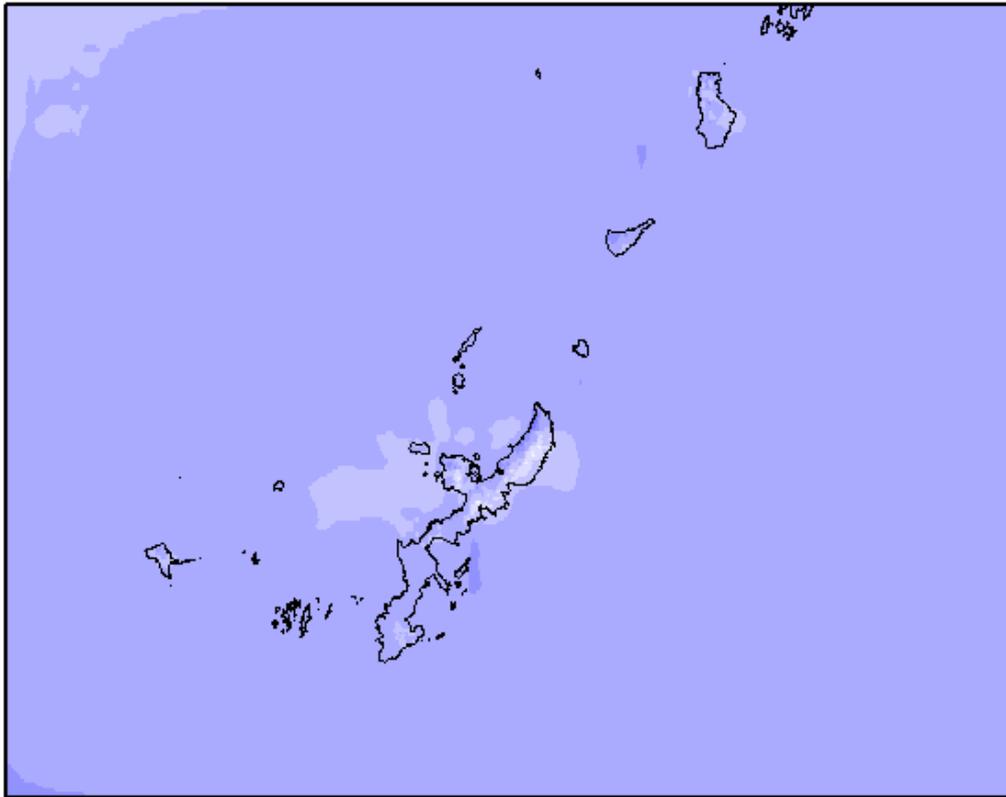


図 2-46 1992 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

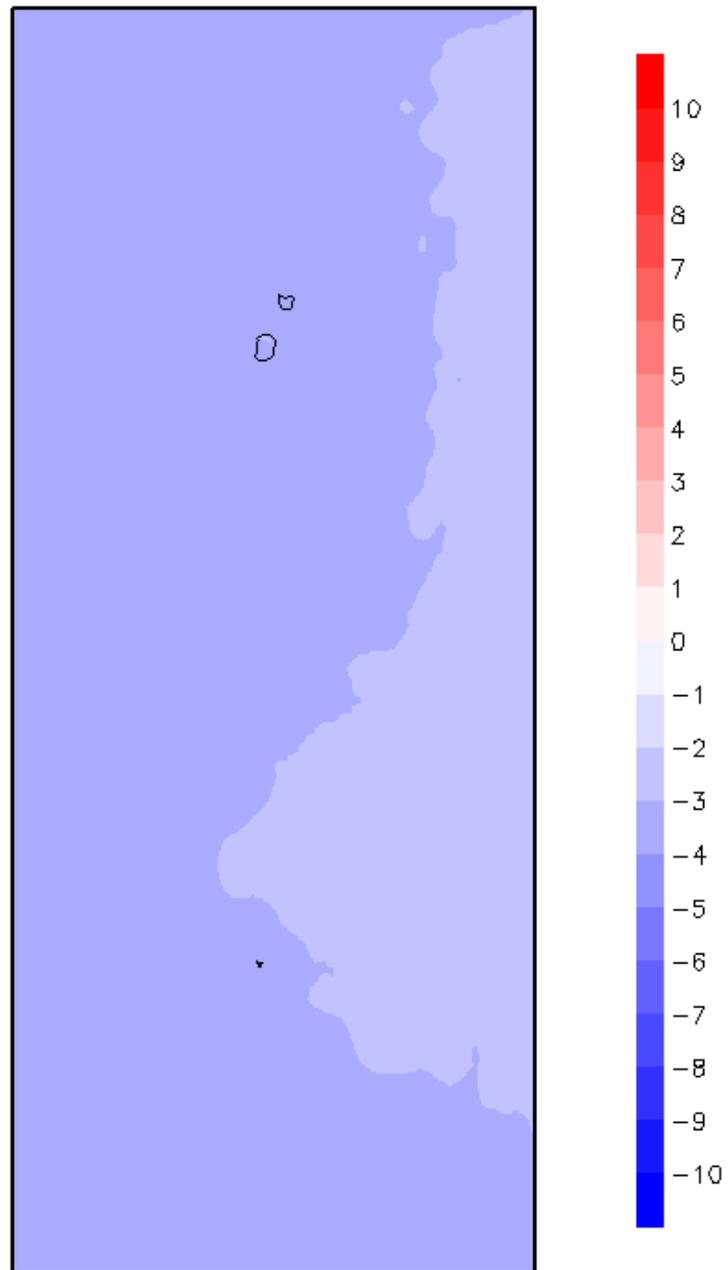


図 2-47 1992 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄③） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

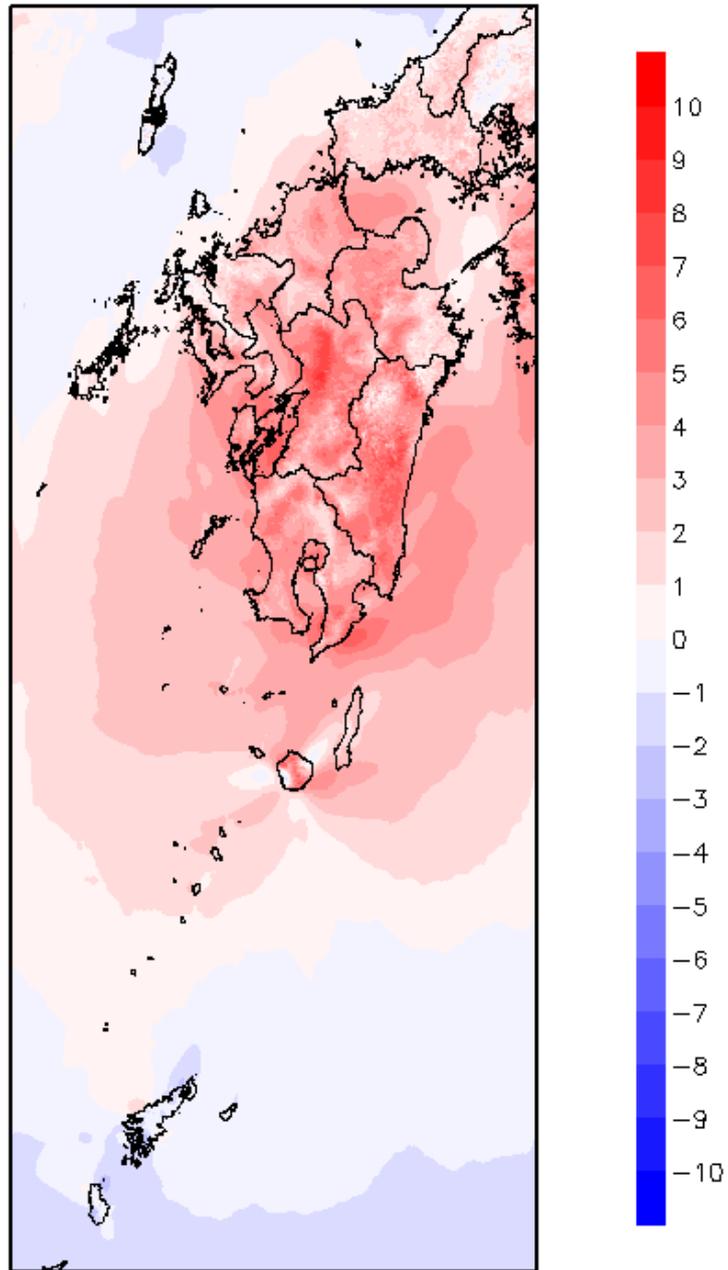


図 2-48 1993 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (九州) [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

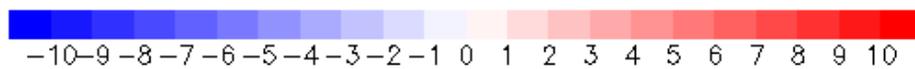
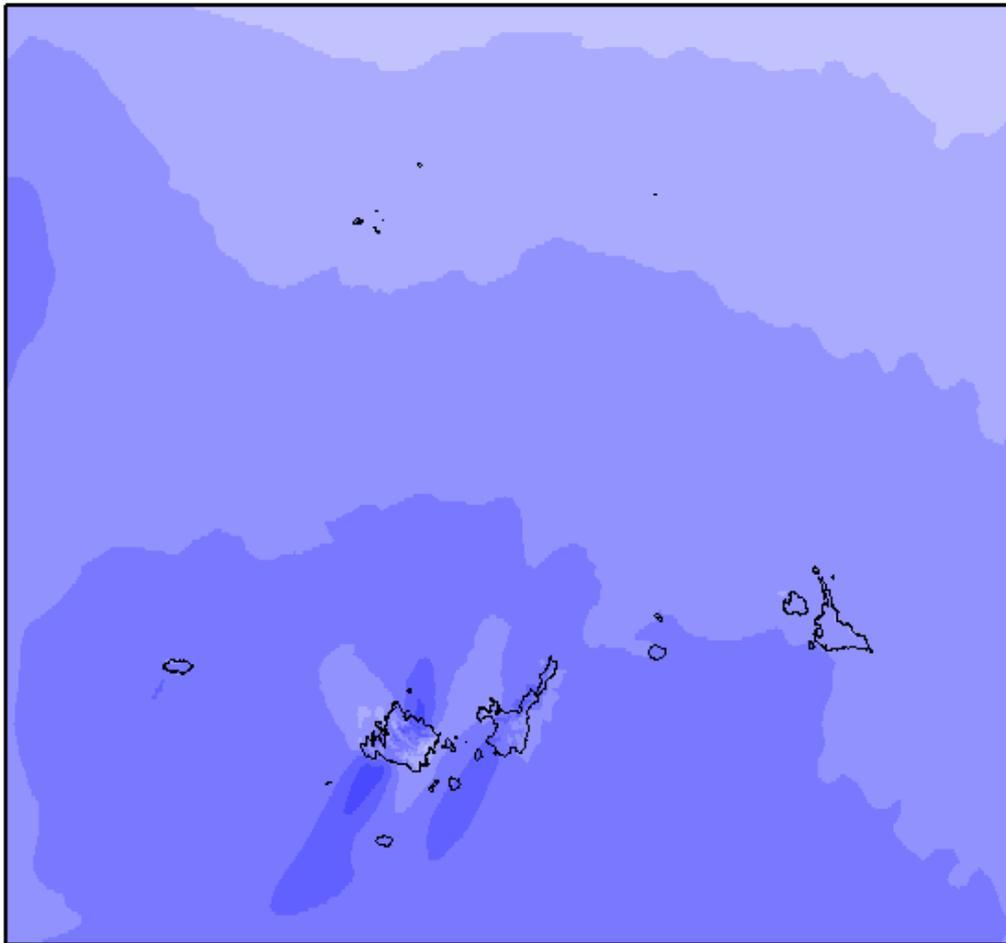


図 2-49 1993 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

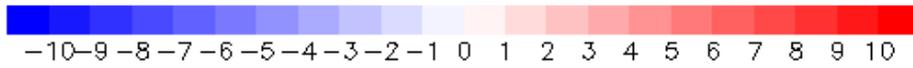
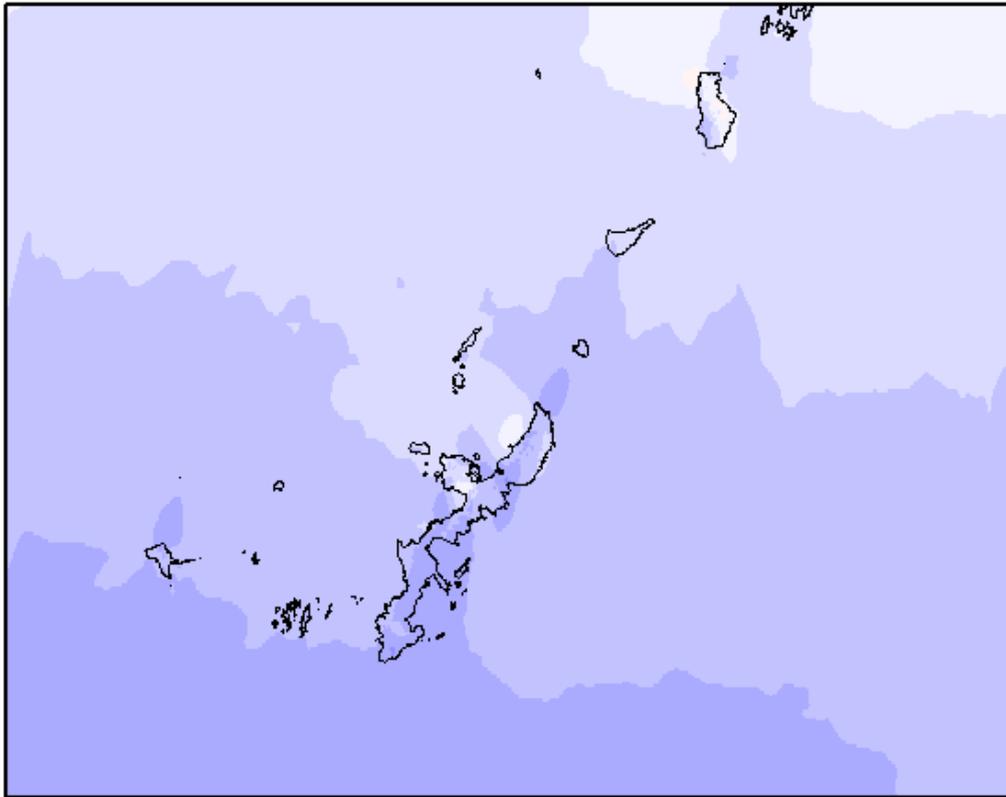


図 2-50 1993 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

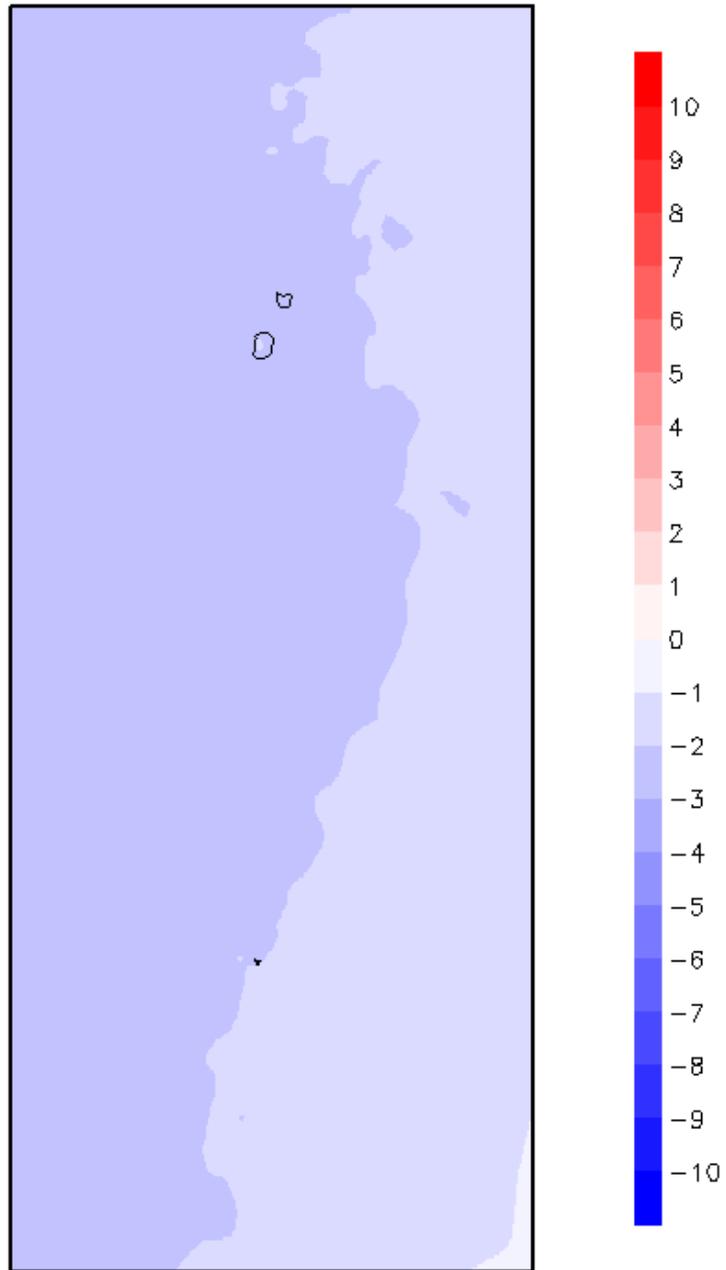


図 2-51 1993 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄③） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

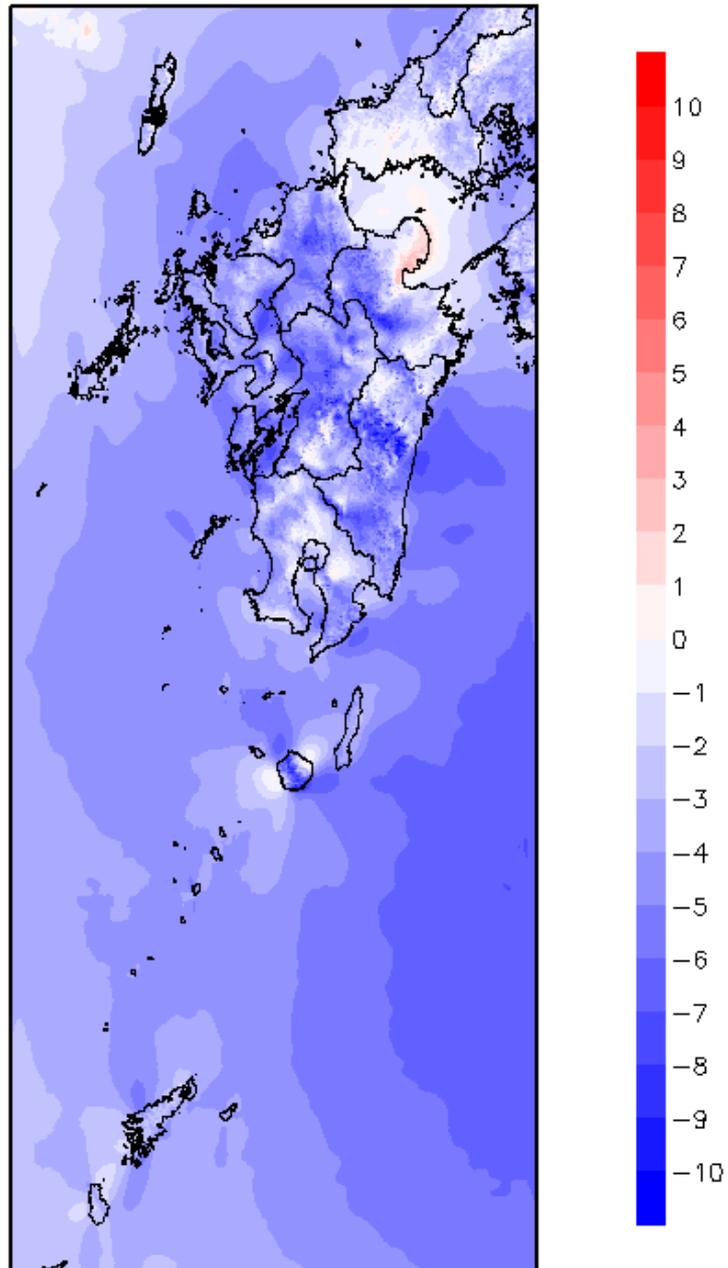


図 2-52 1994 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（九州）[%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

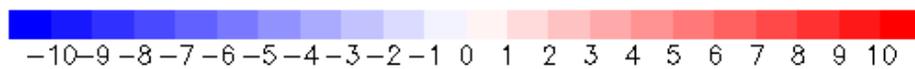
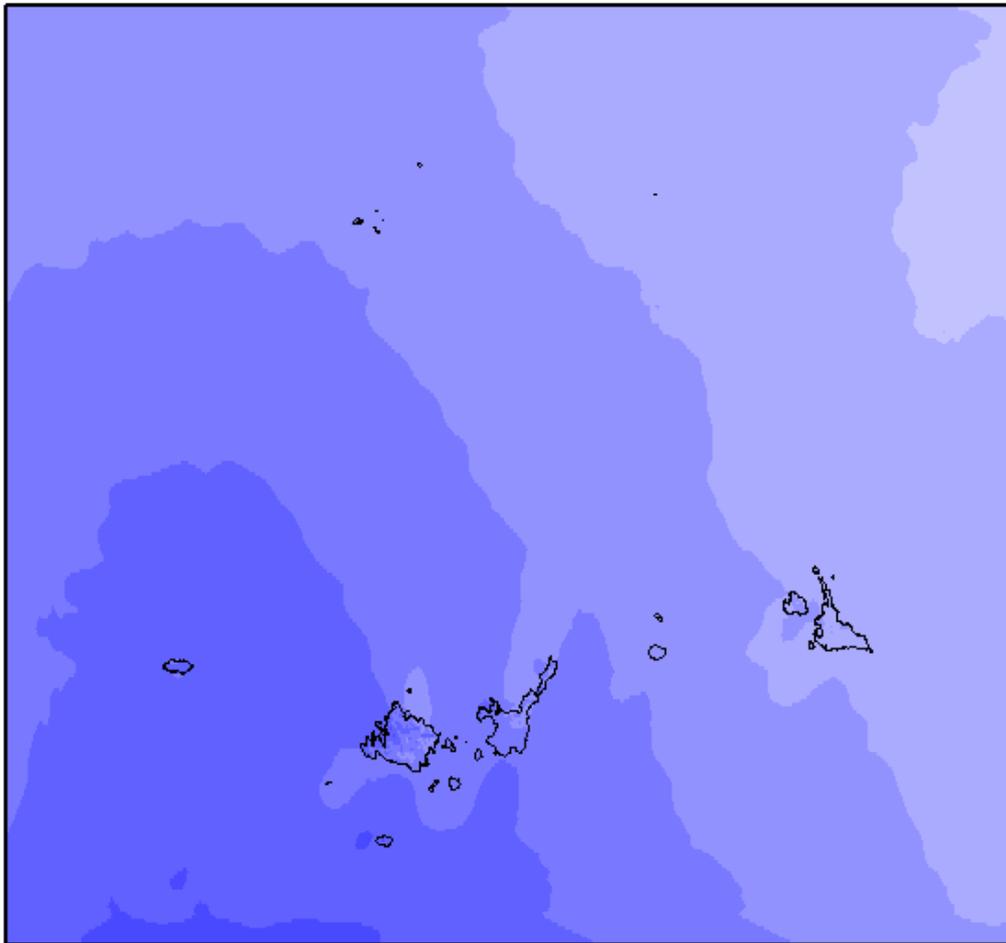


図 2-53 1994 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

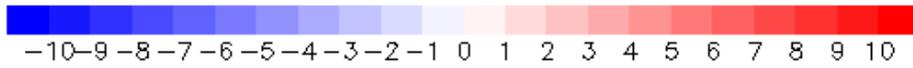
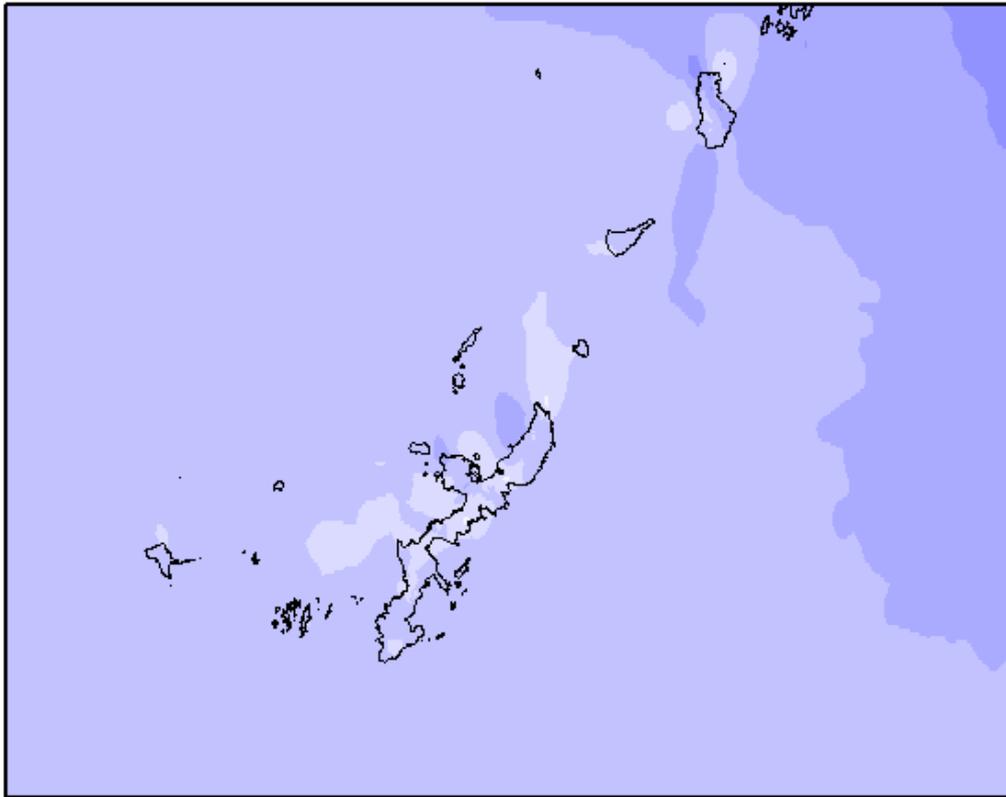


図 2-54 1994 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

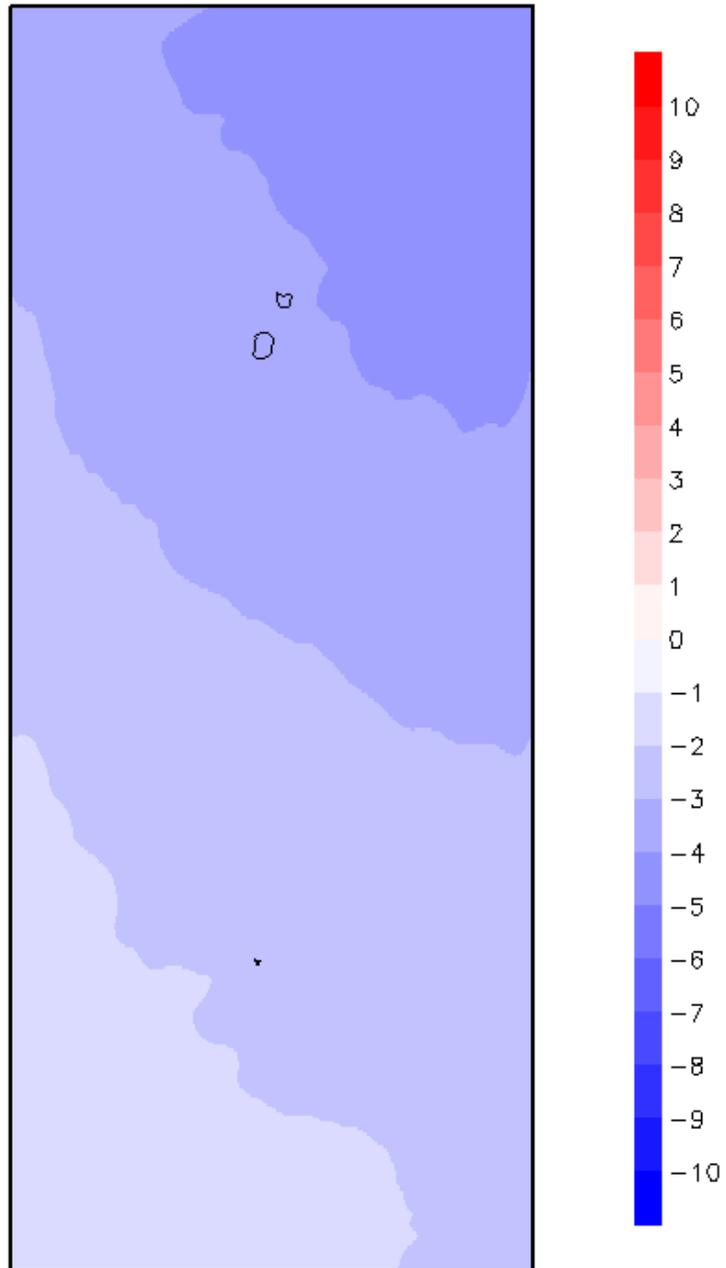


図 2-55 1994 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (沖縄③) [%]
 メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

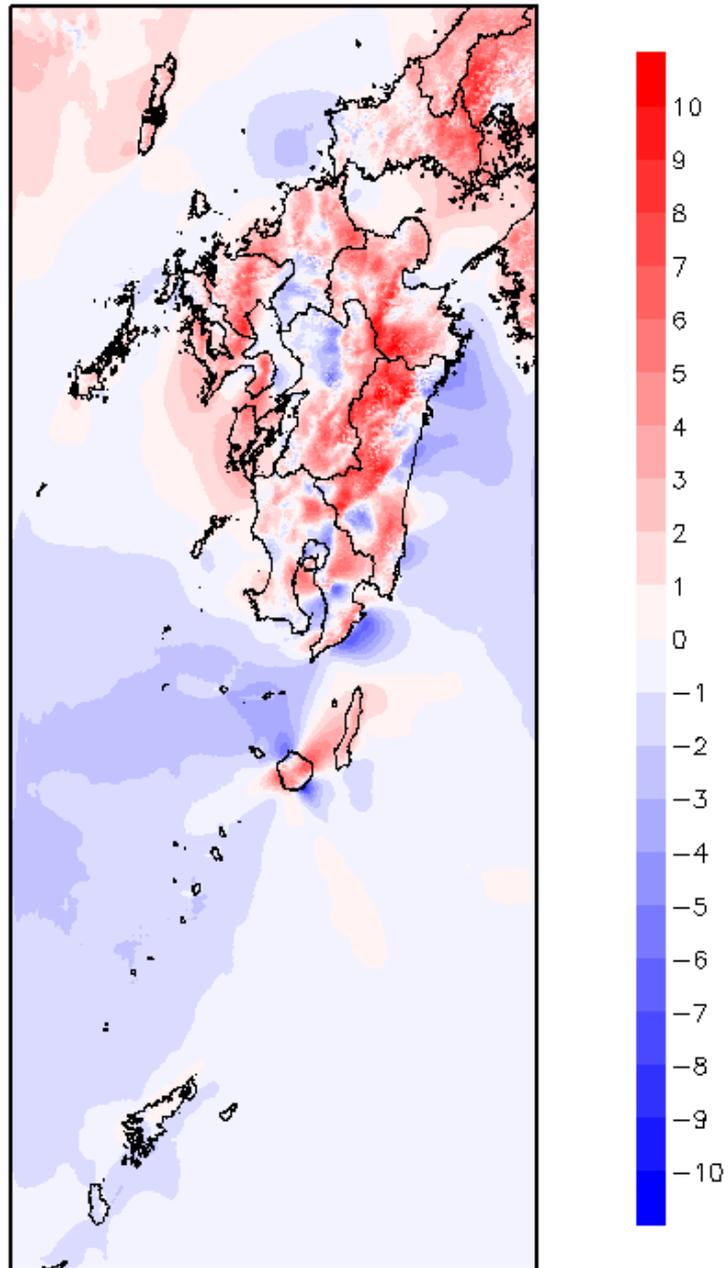


図 2-56 1995 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (九州) [%]
 メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

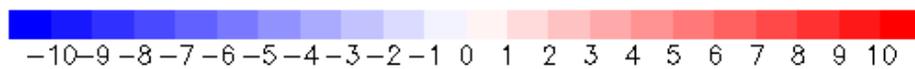
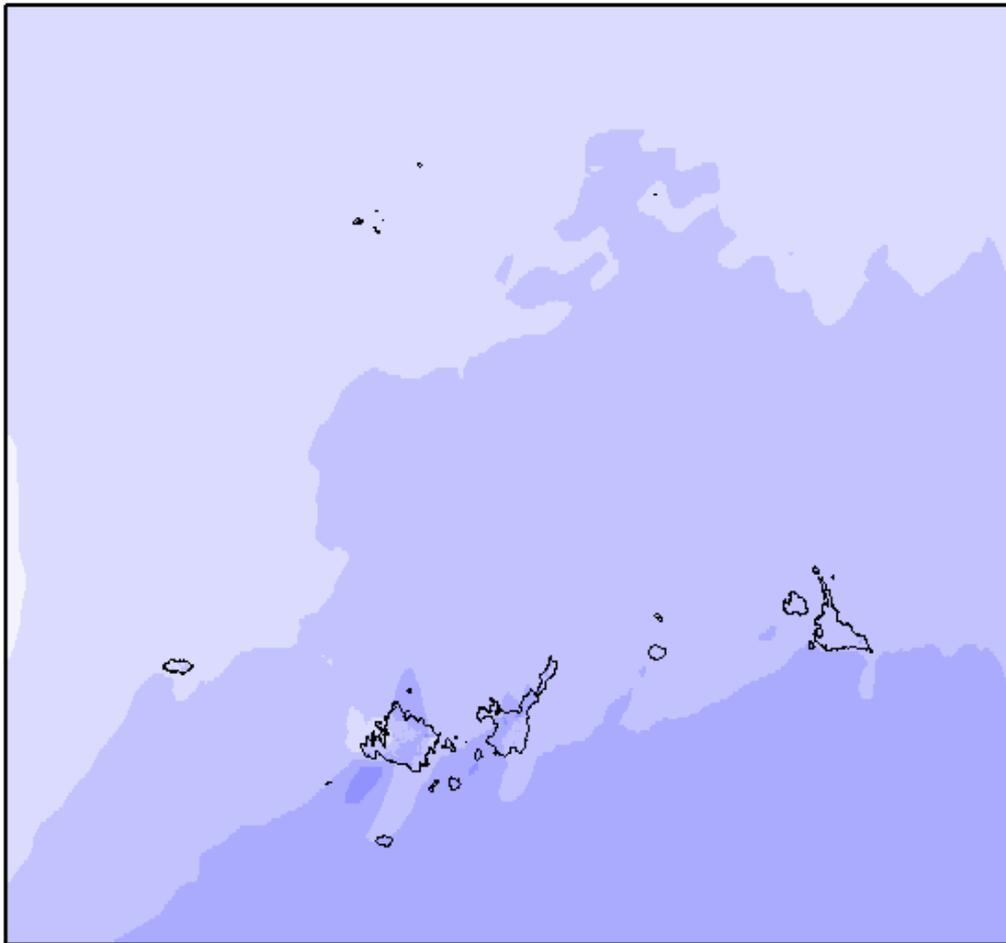


図 2-57 1995 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

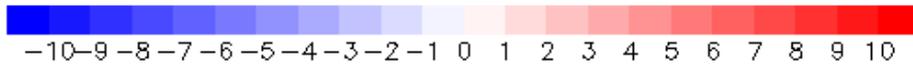
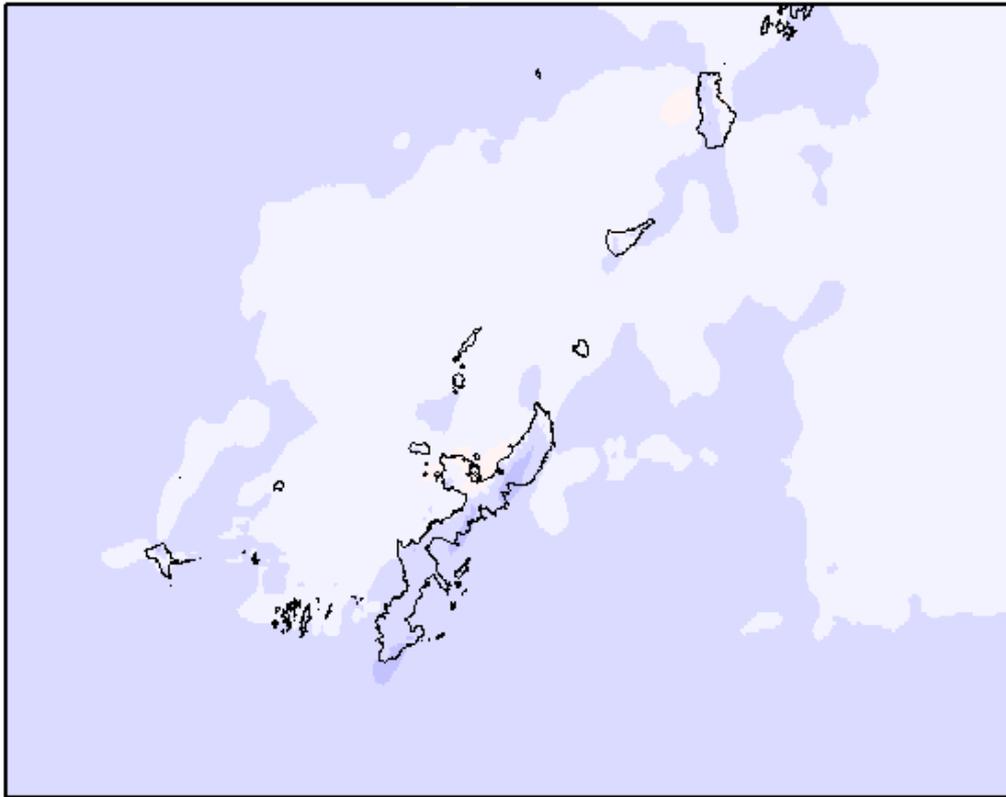


図 2-58 1995 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

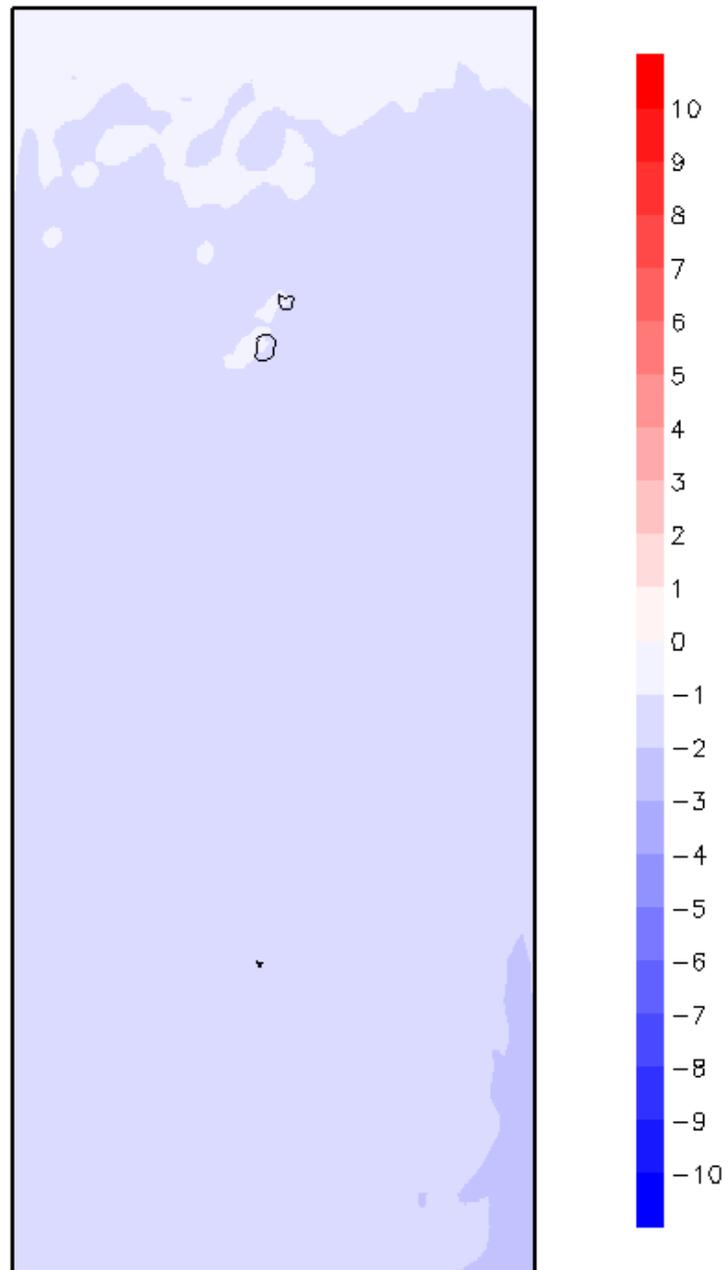


図 2-59 1995 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄③） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

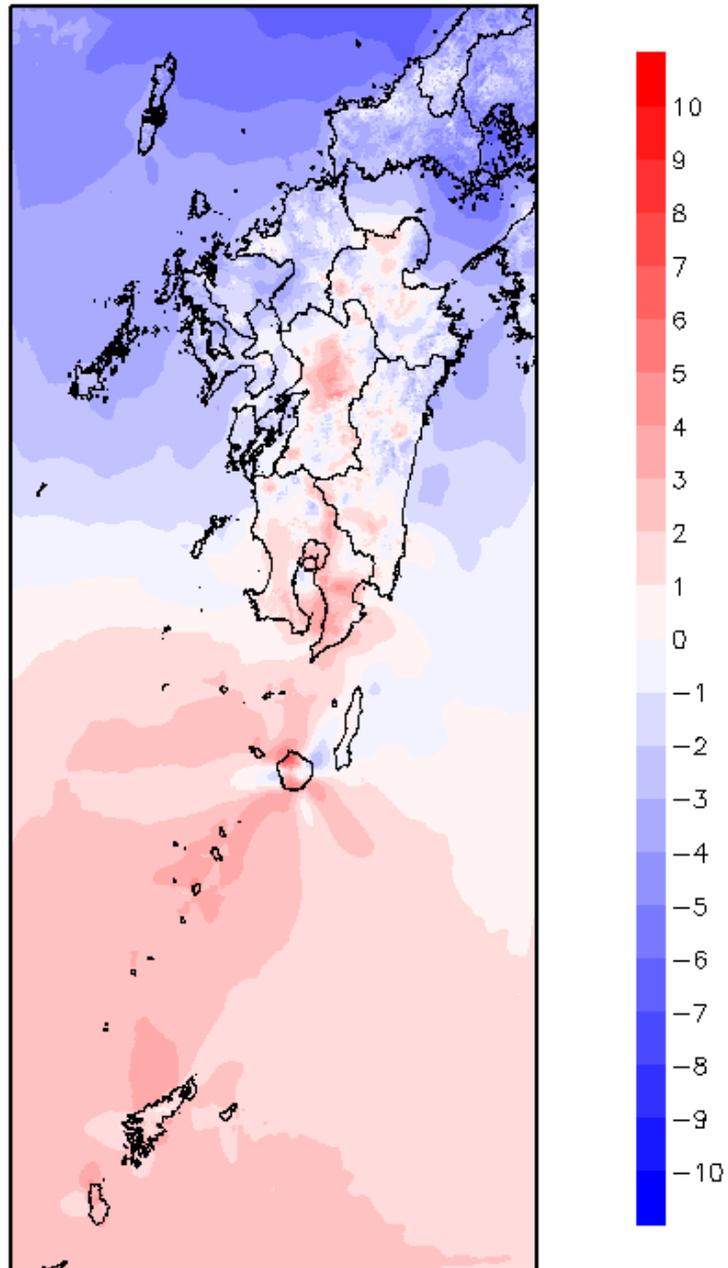


図 2-60 1996 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (九州) [%]
 メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

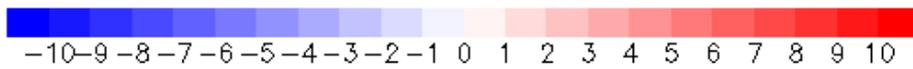
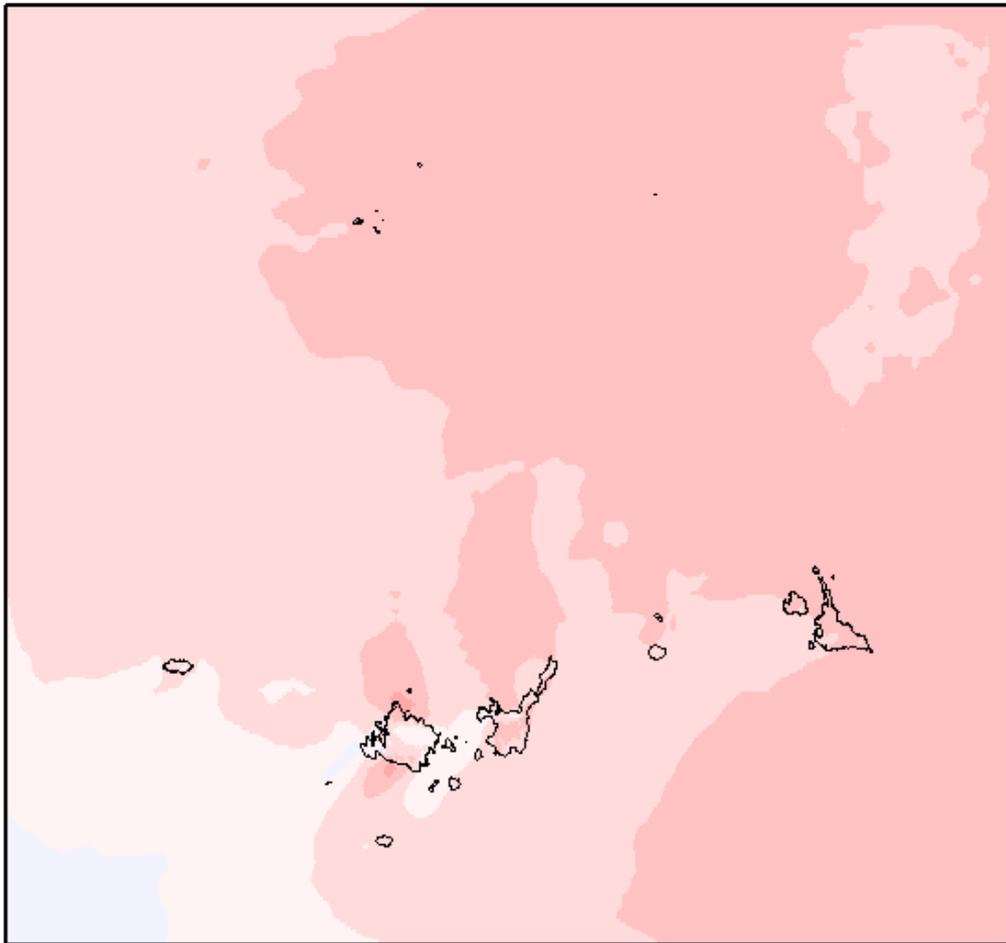


図 2-61 1996 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

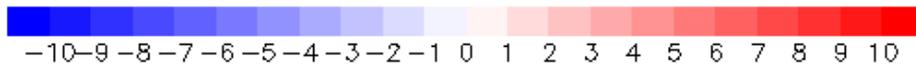
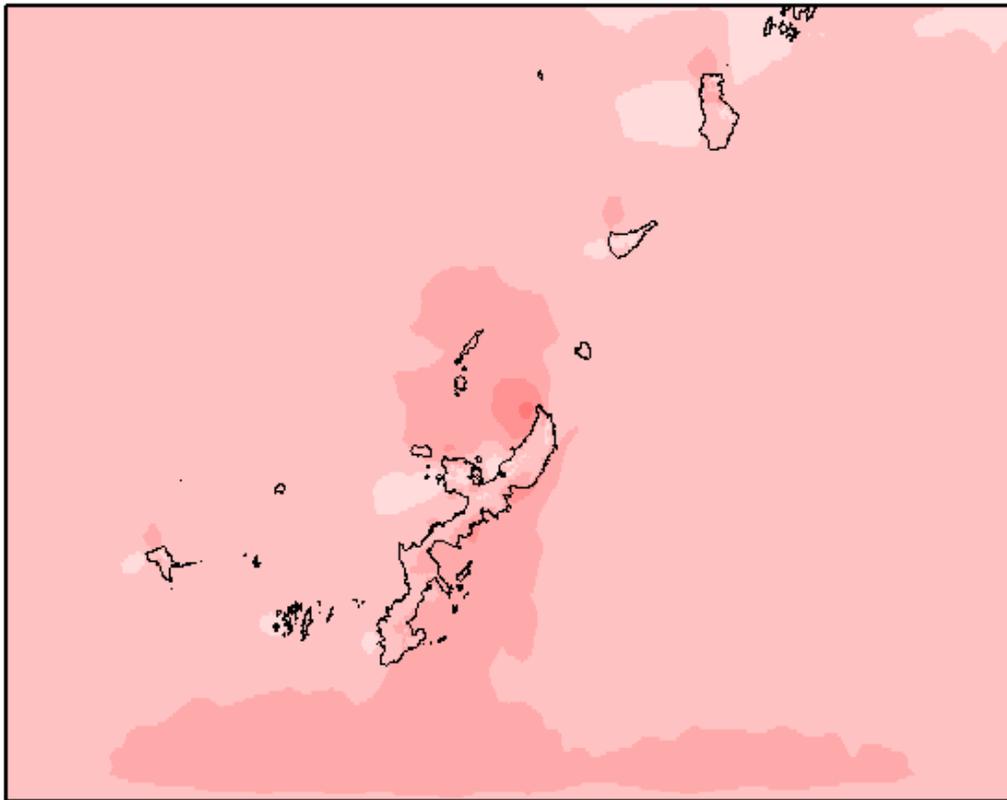


図 2-62 1996 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

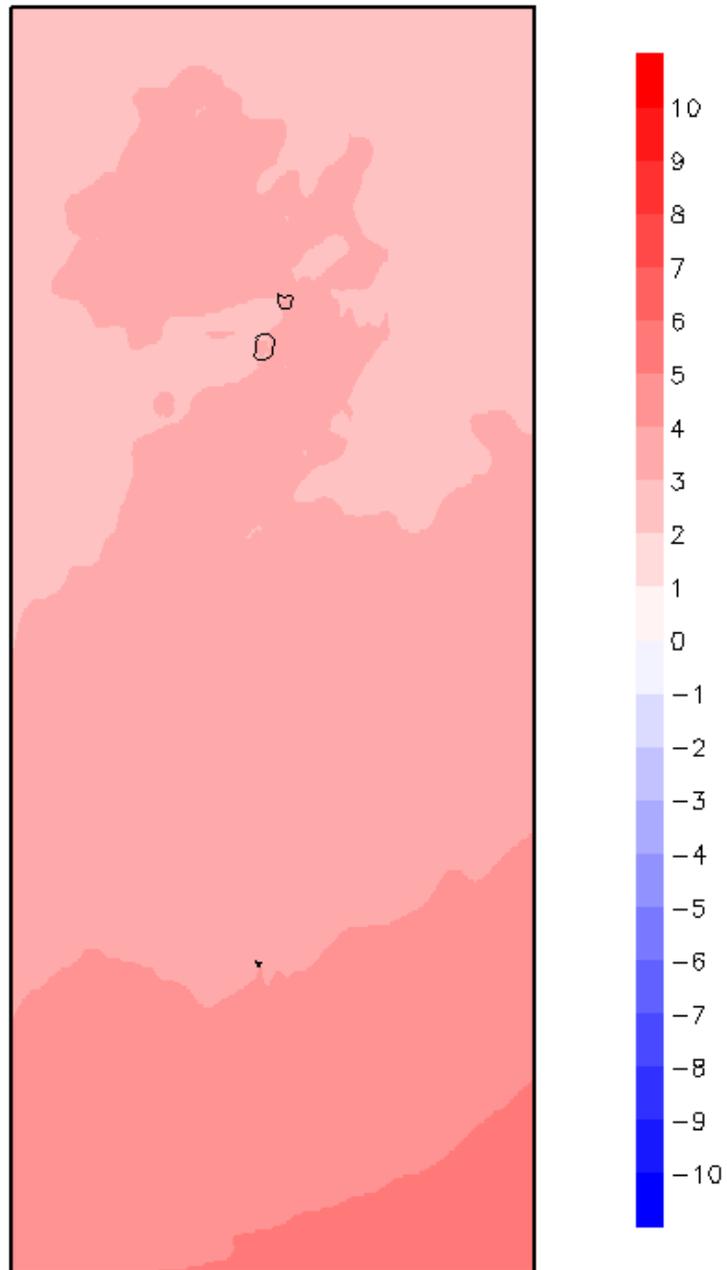


図 2-63 1996 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (沖縄③) [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

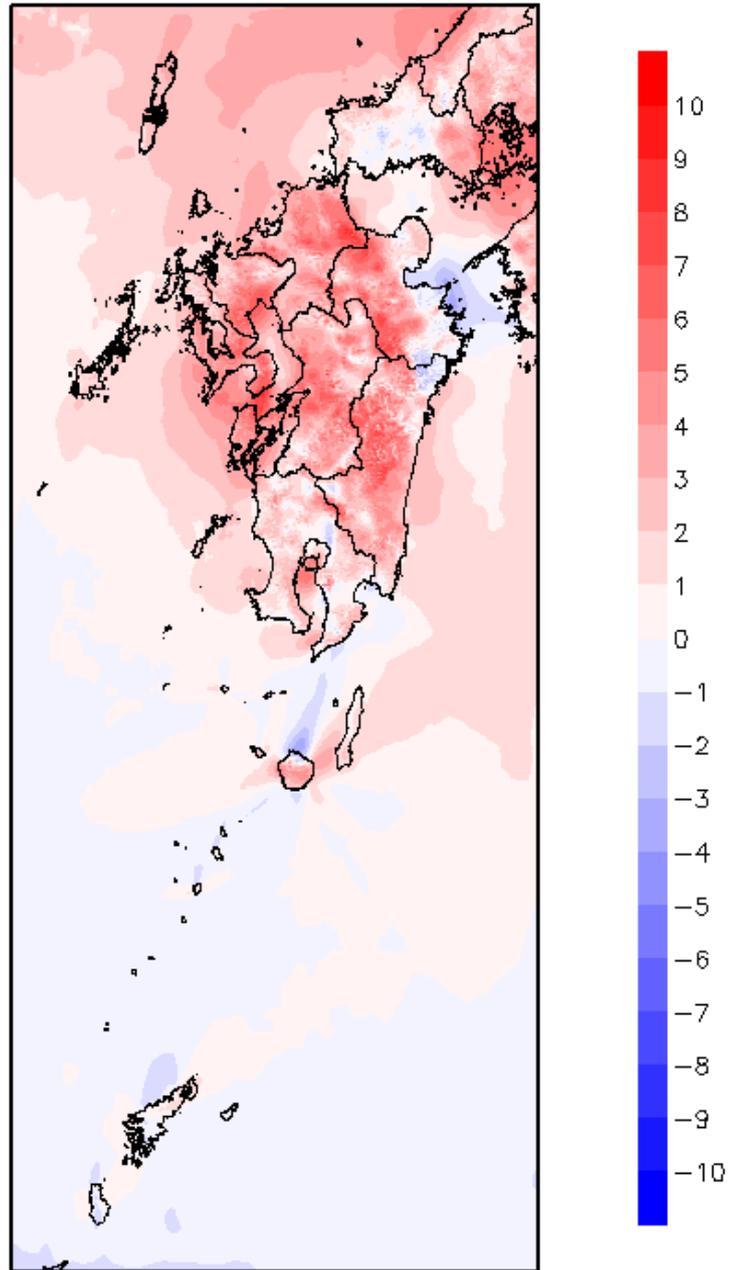


図 2-64 1997 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（九州）[%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

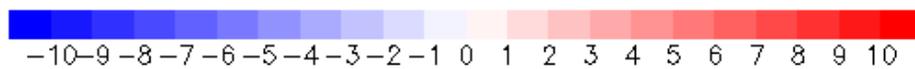
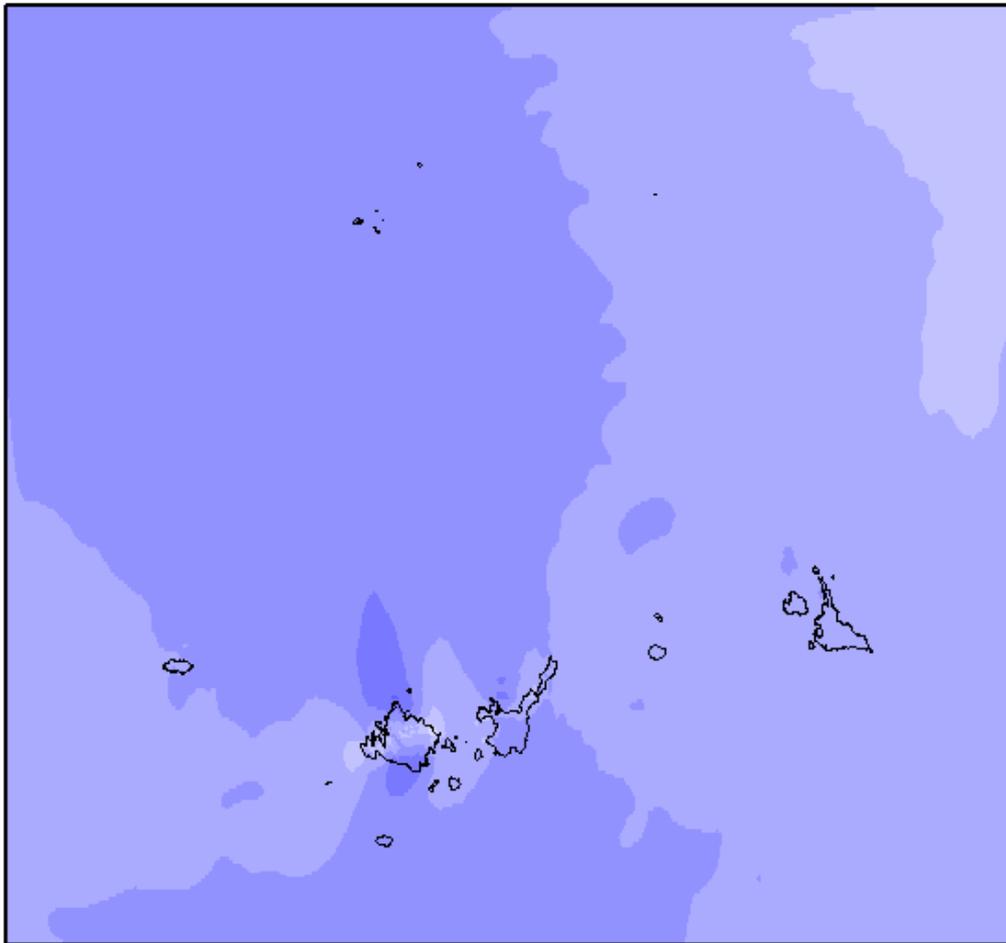


図 2-65 1997 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

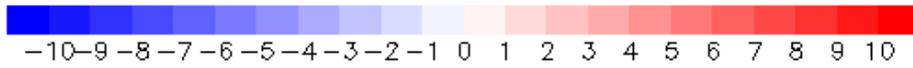
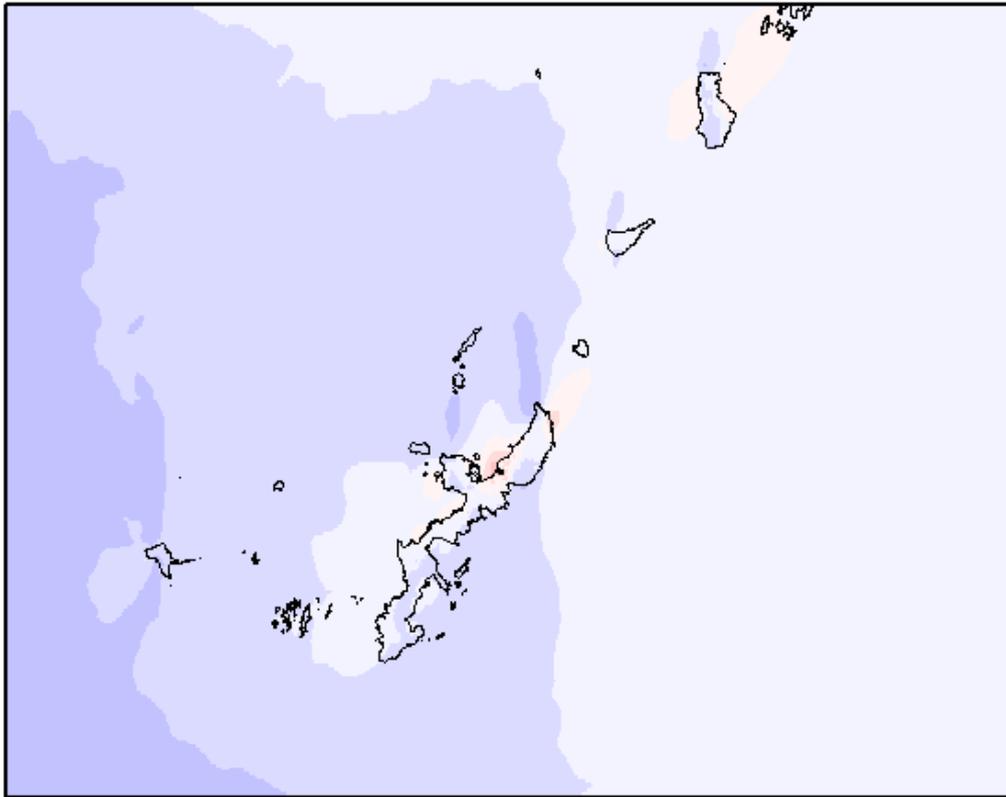


図 2-66 1997 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

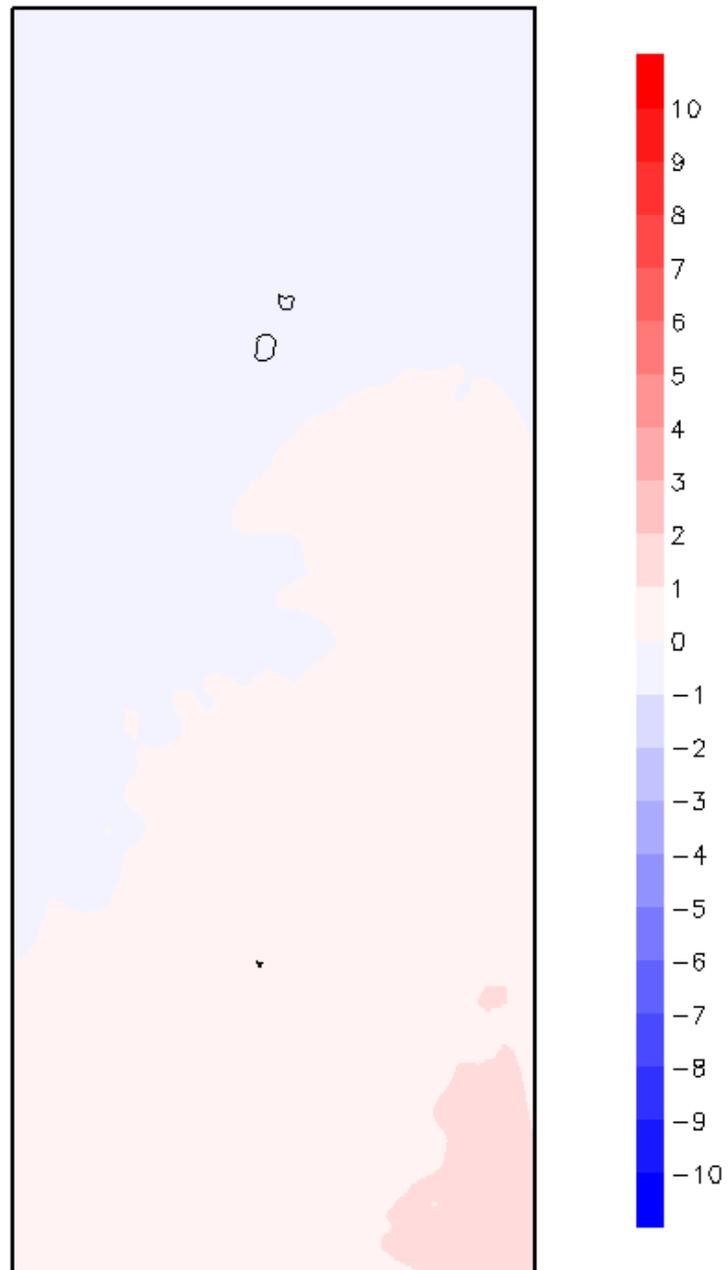


図 2-67 1997 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄③） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

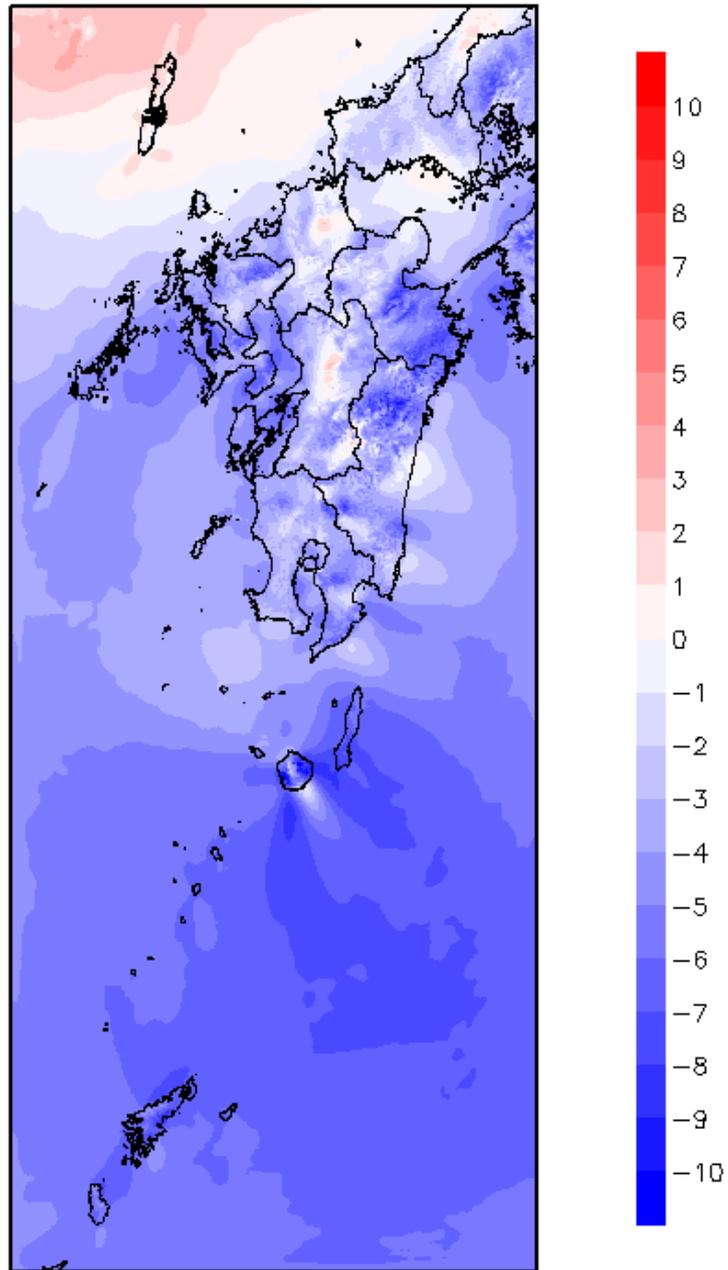


図 2-68 1998 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（九州）[%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

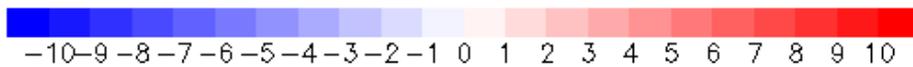
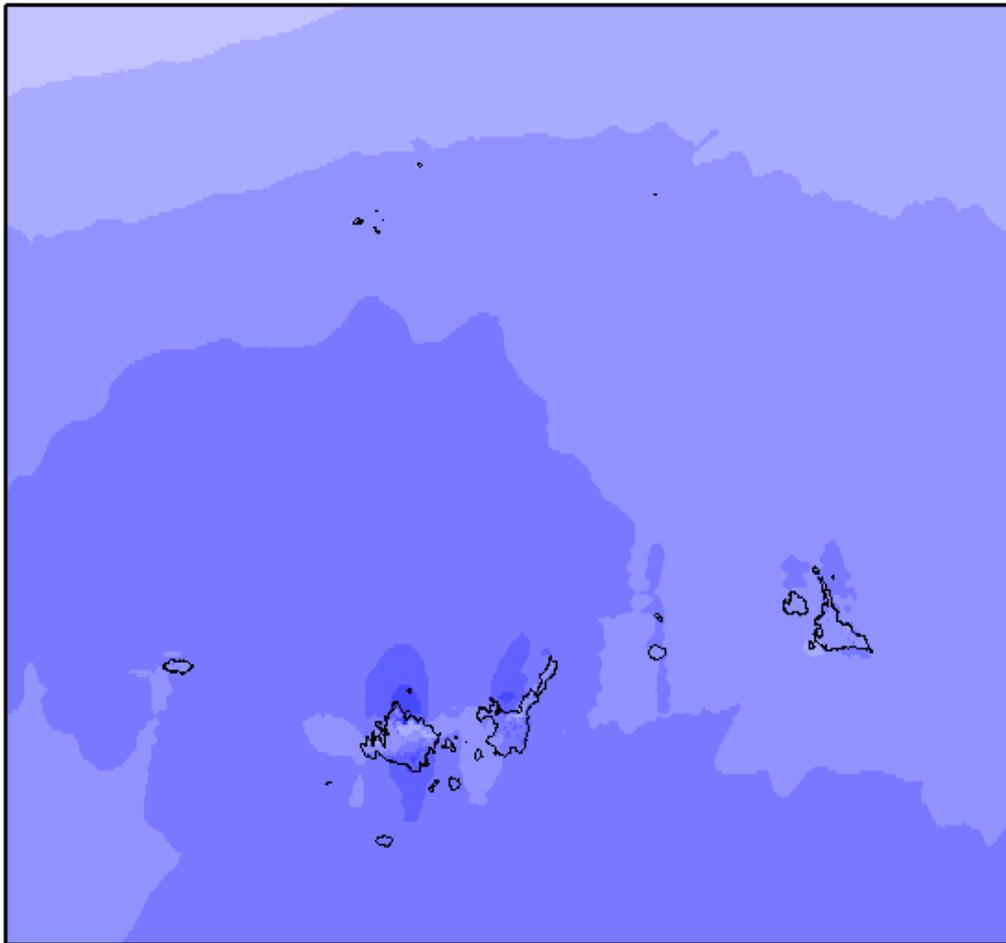


図 2-69 1998 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

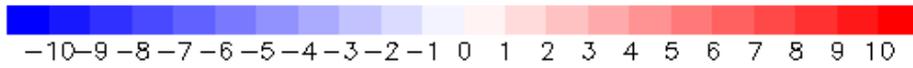
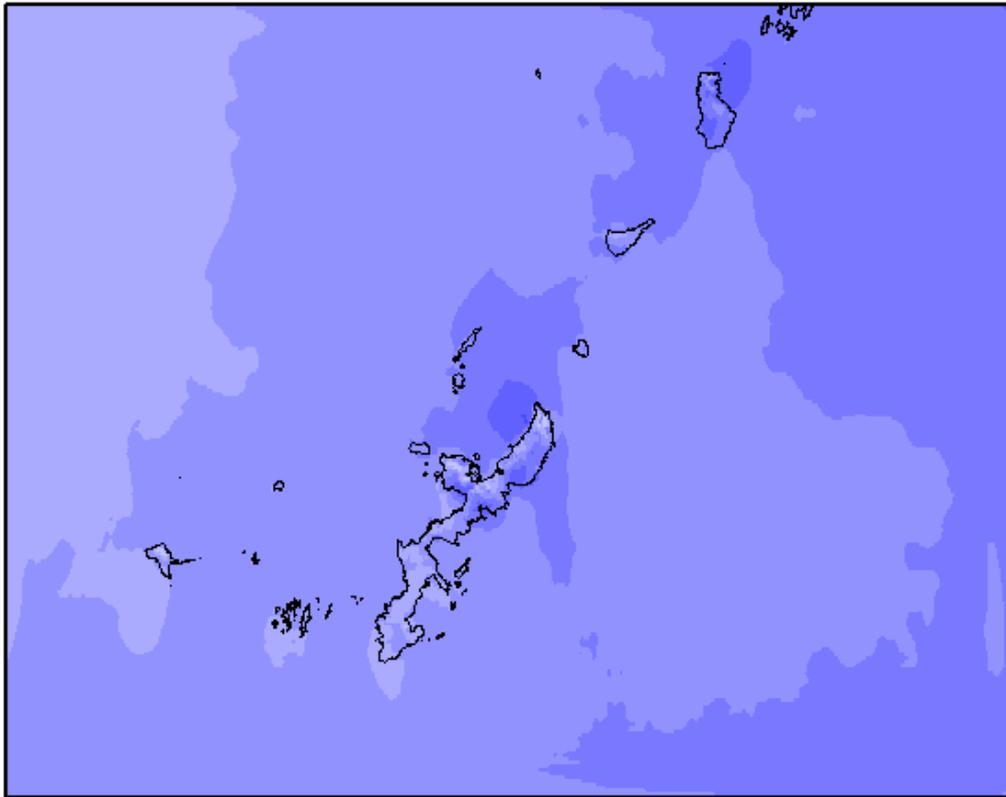


図 2-70 1998 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

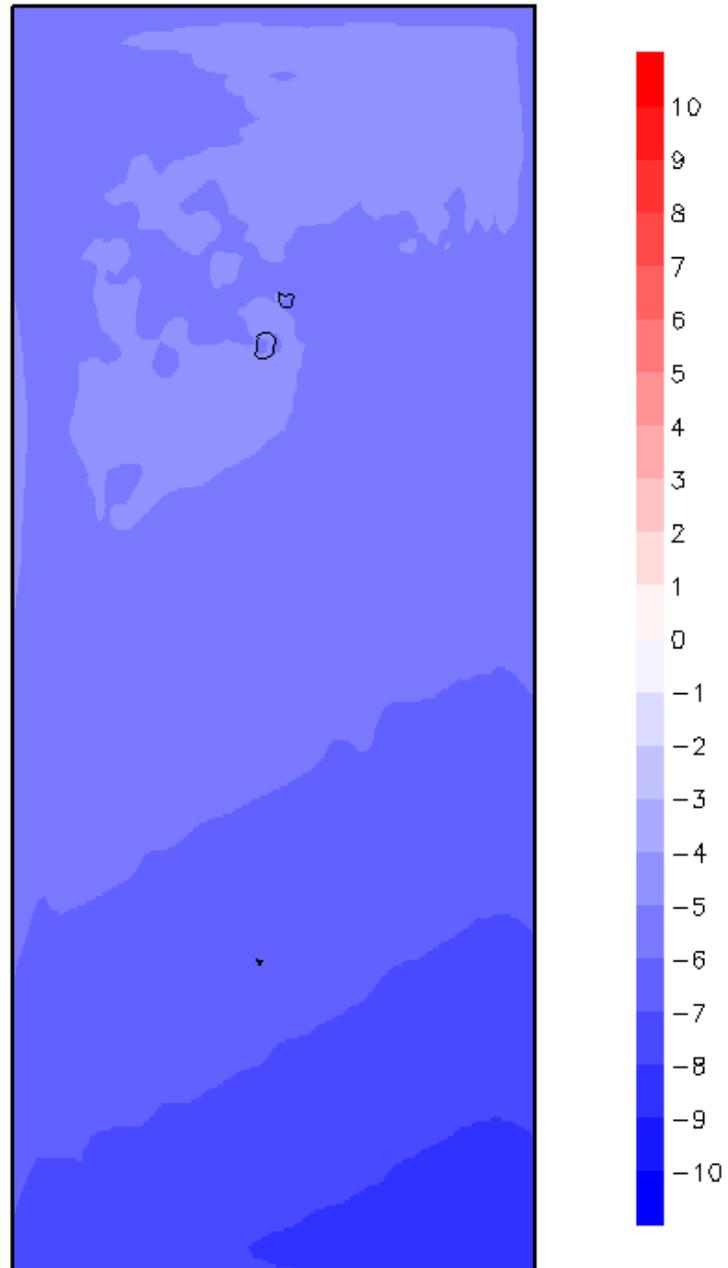


図 2-71 1998 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (沖縄③) [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

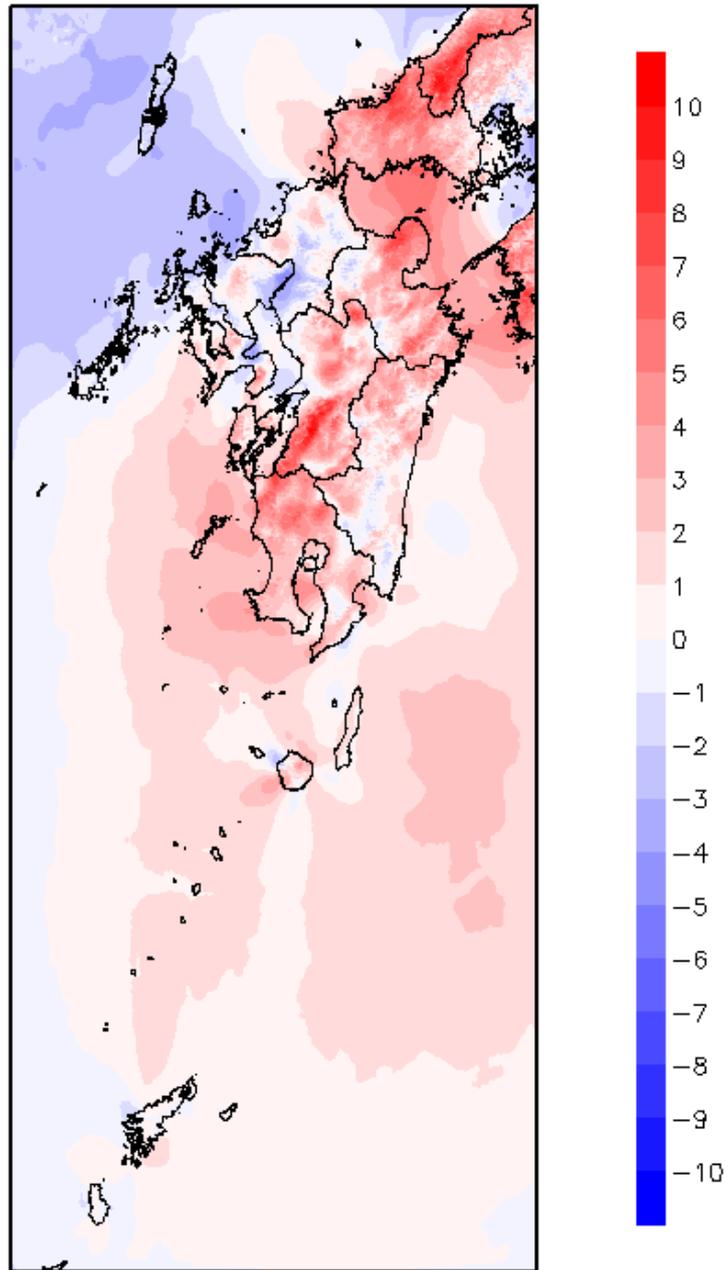


図 2-72 1999 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (九州) [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

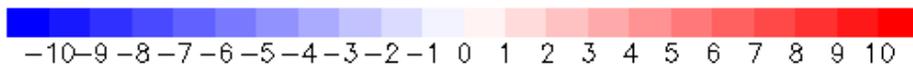
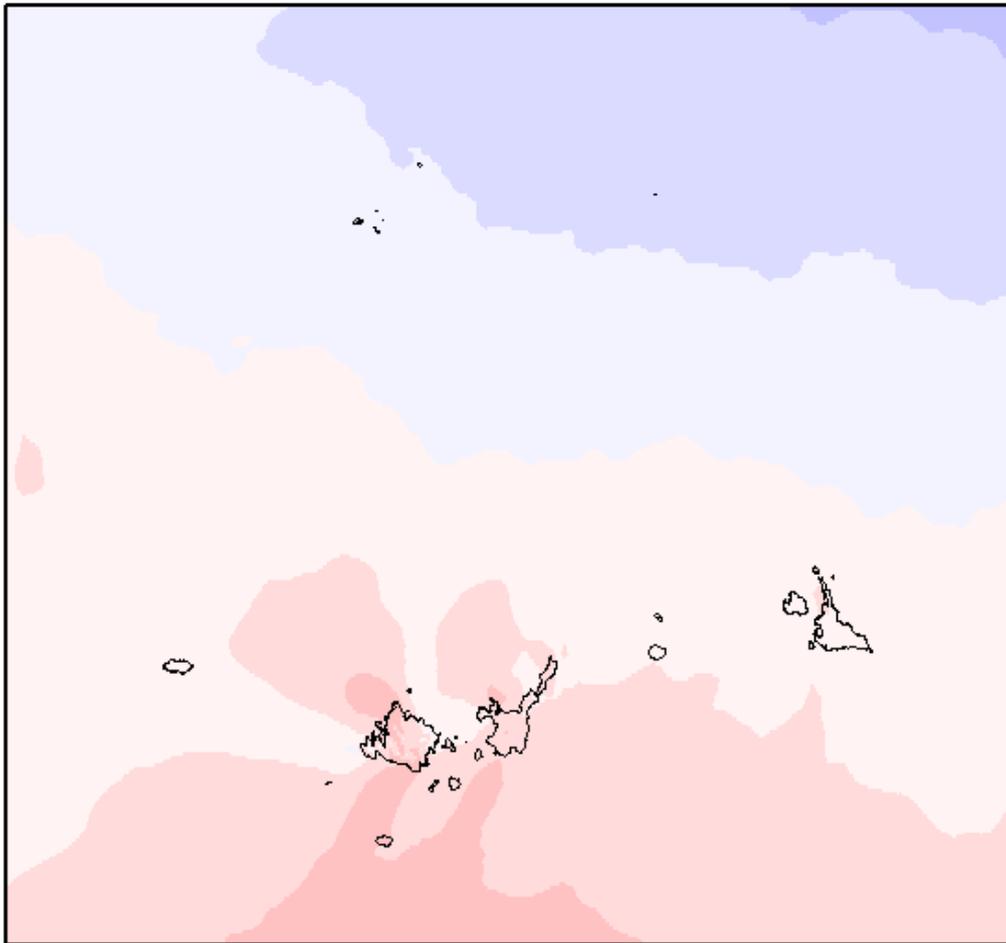


図 2-73 1999 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

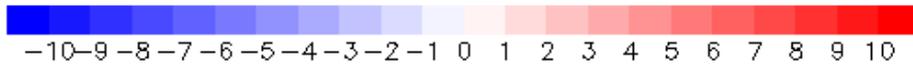
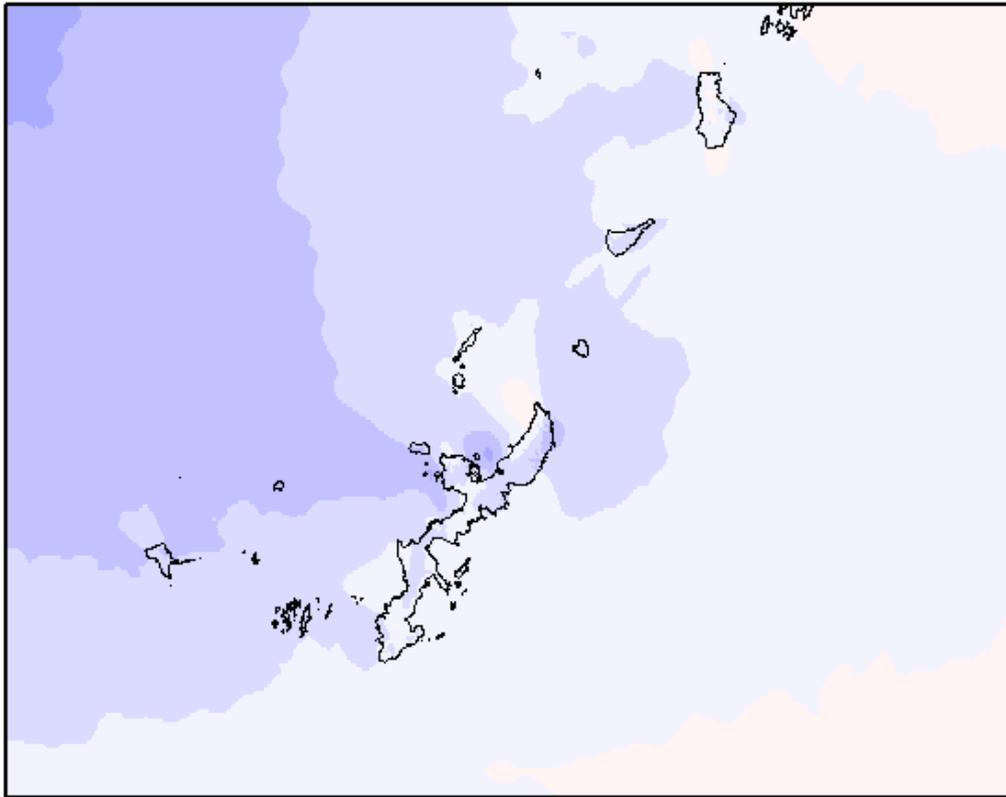


図 2-74 1999 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

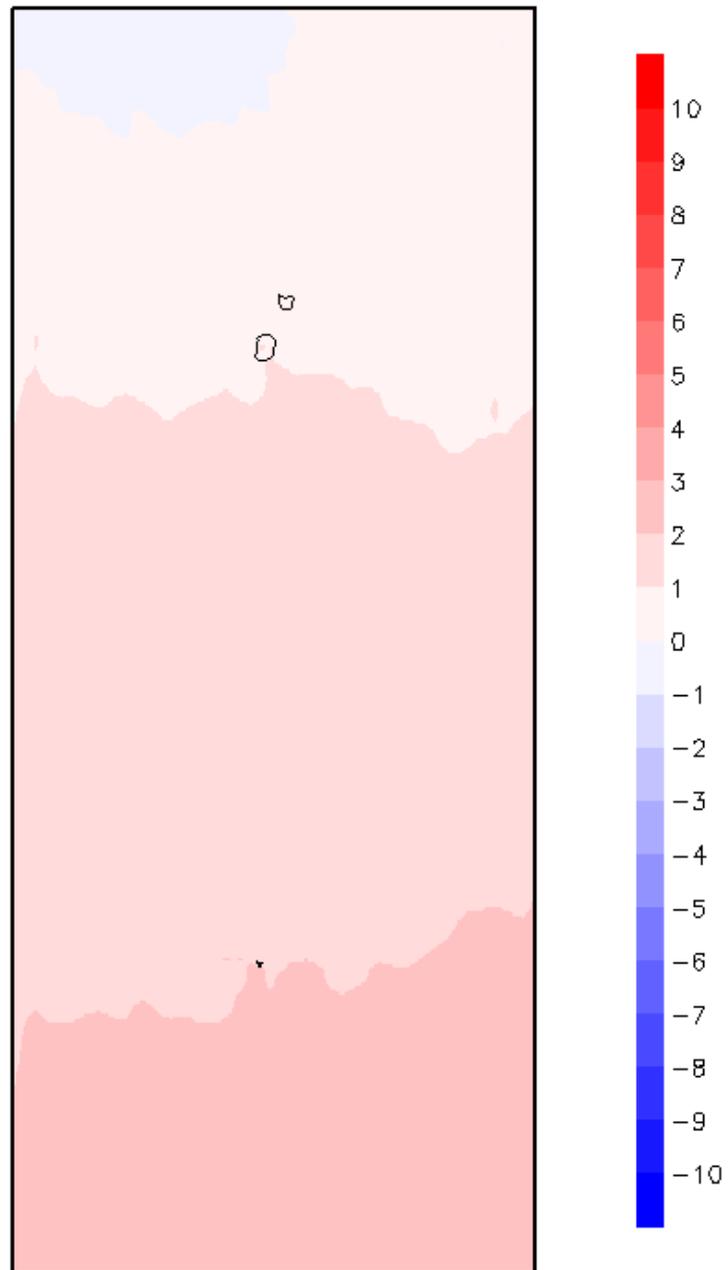


図 2-75 1999 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄③） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

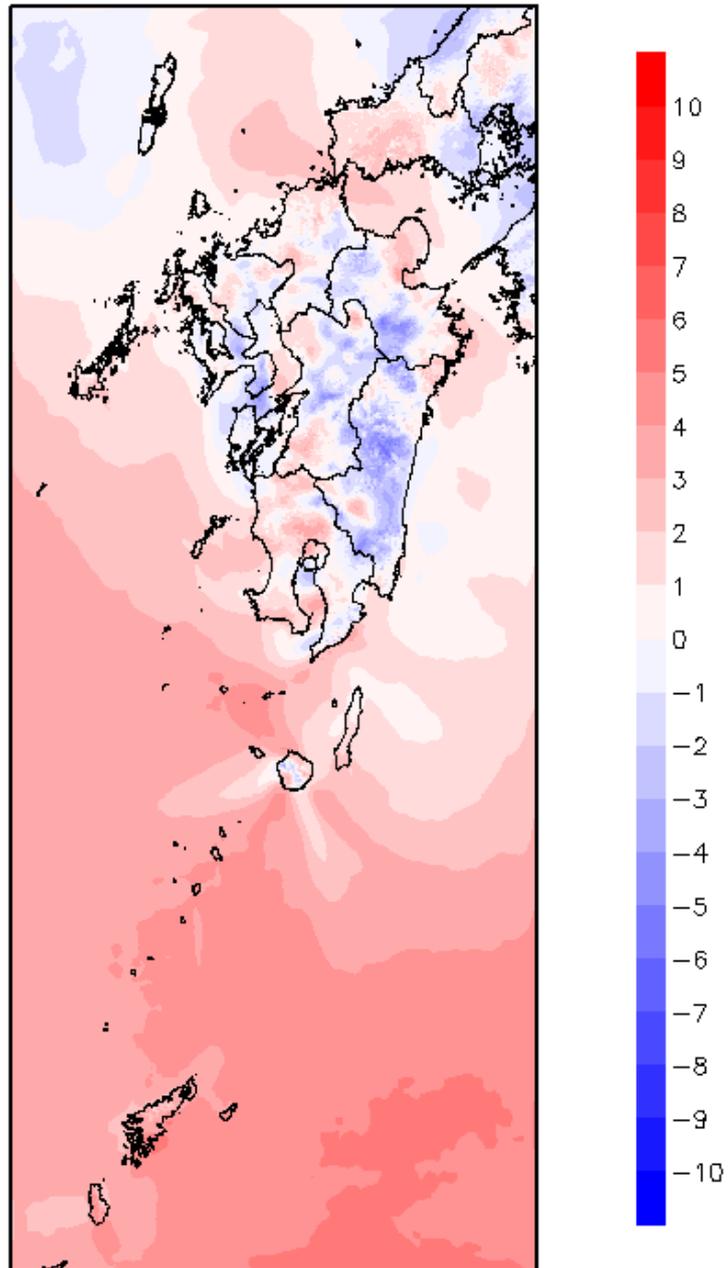


図 2-76 2000 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (九州) [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

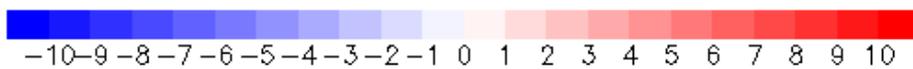
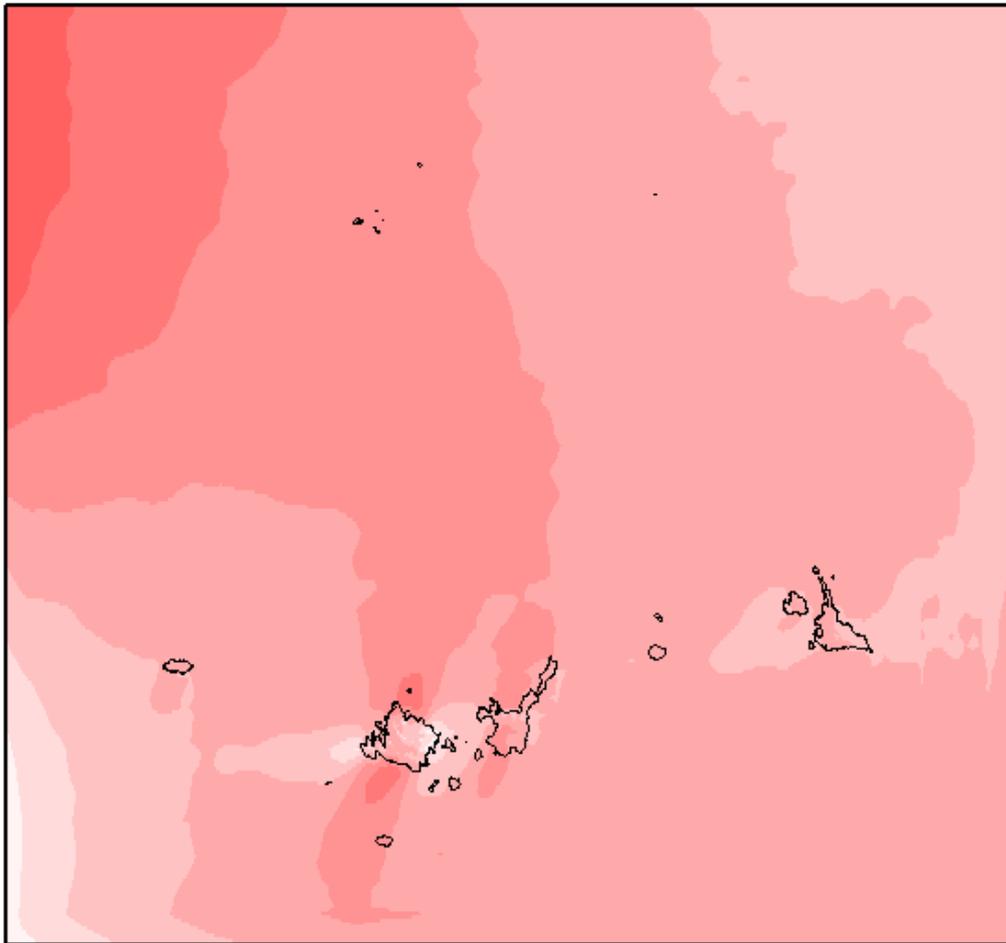


図 2-77 2000 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

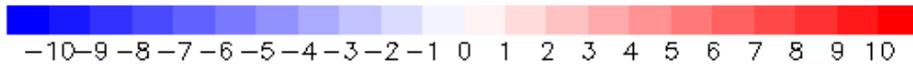
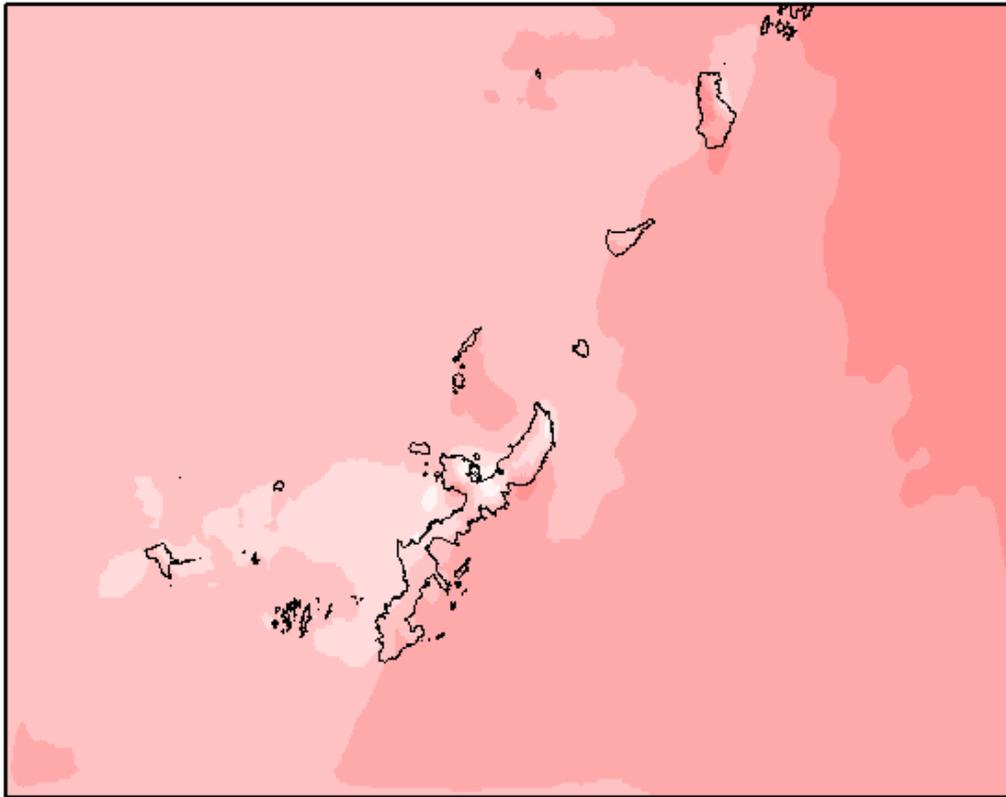


図 2-78 2000 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

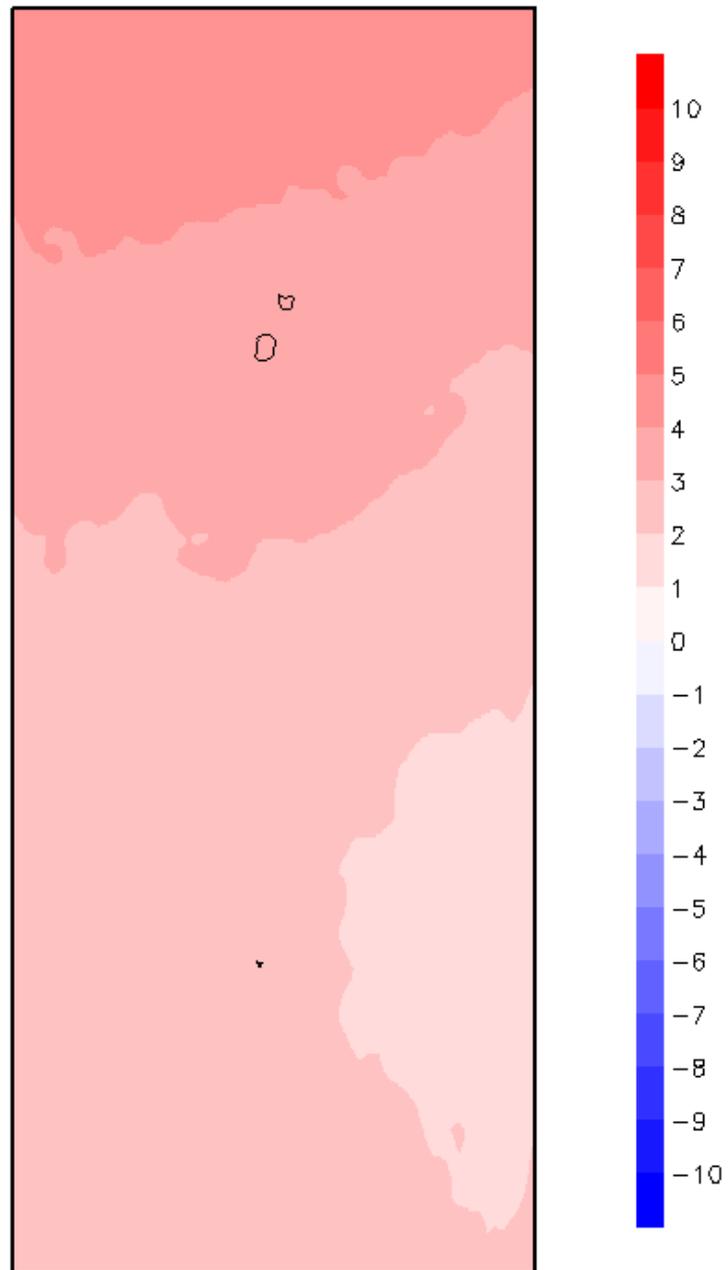


図 2-79 2000 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄③） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

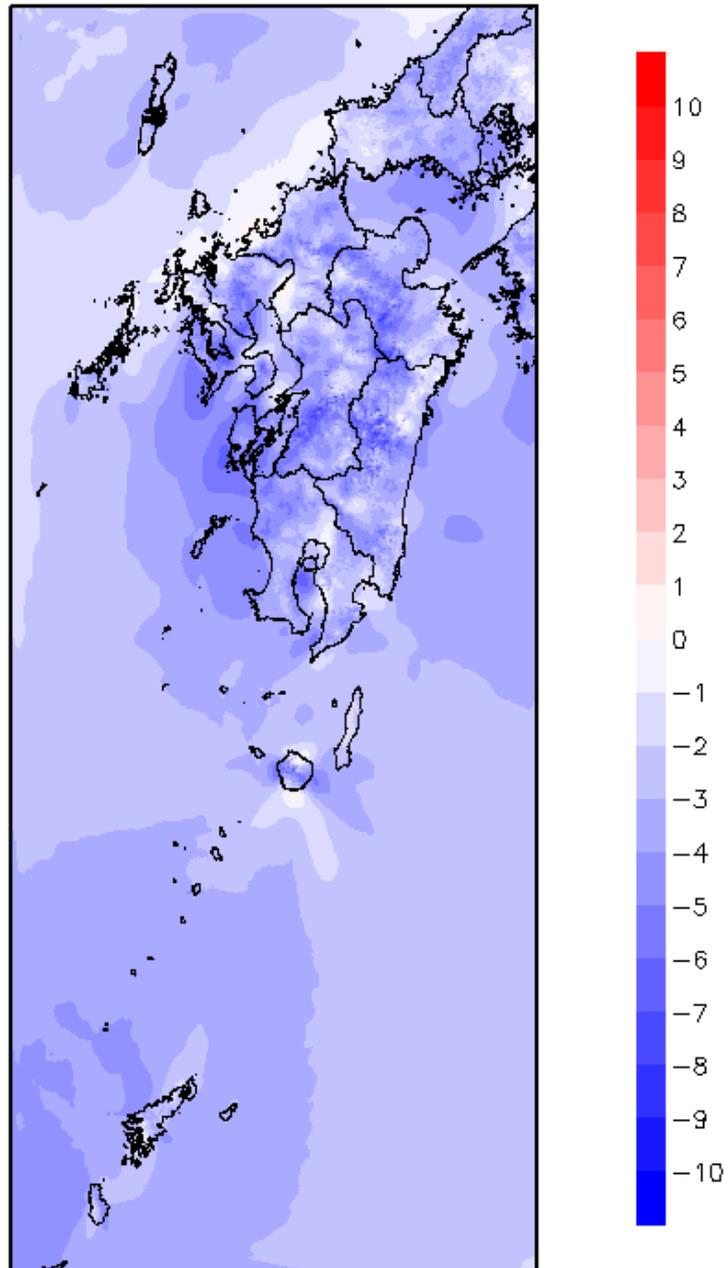


図 2-80 2001 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (九州) [%]
 メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

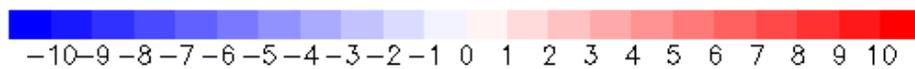
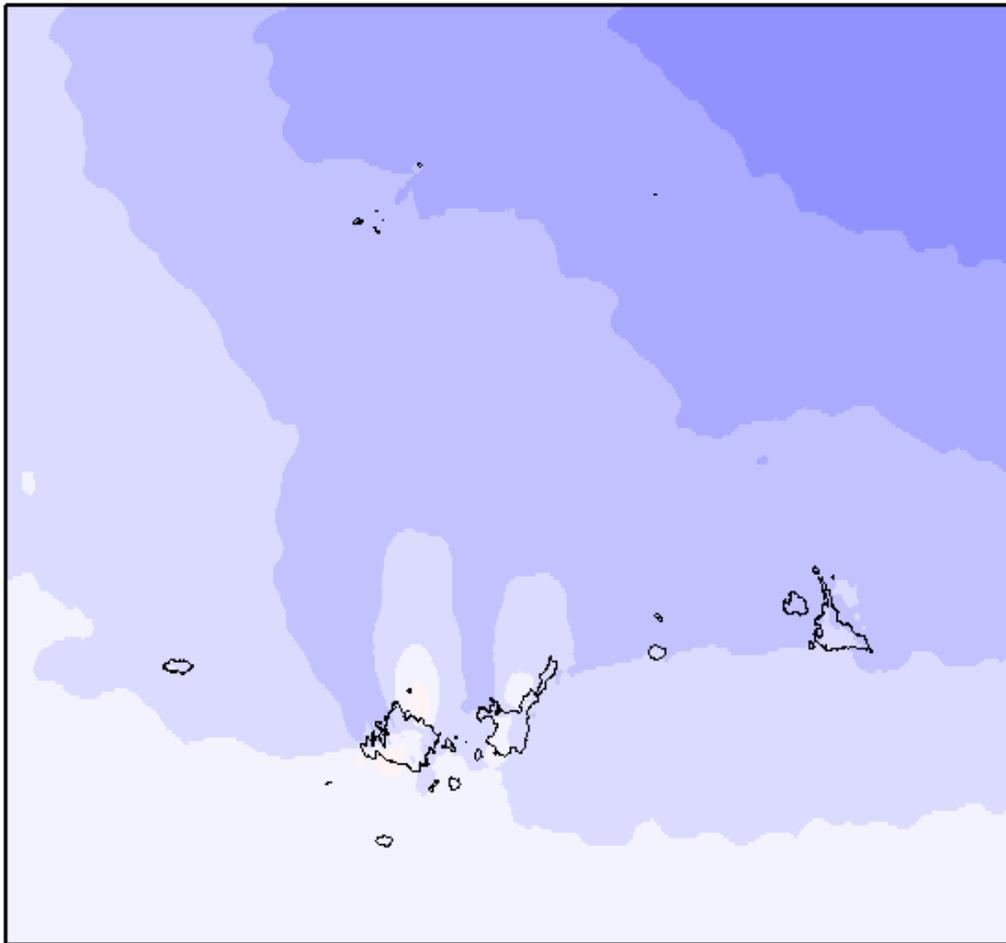


図 2-81 2001 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

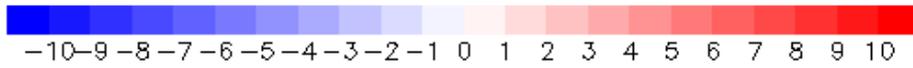
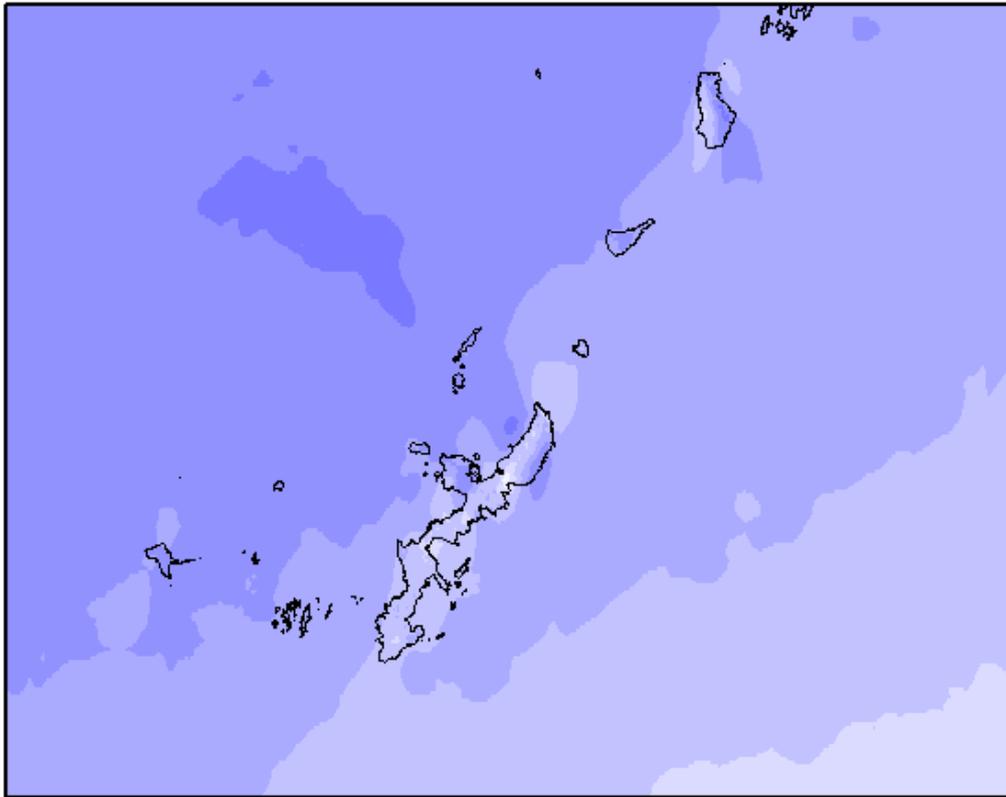


図 2-82 2001 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

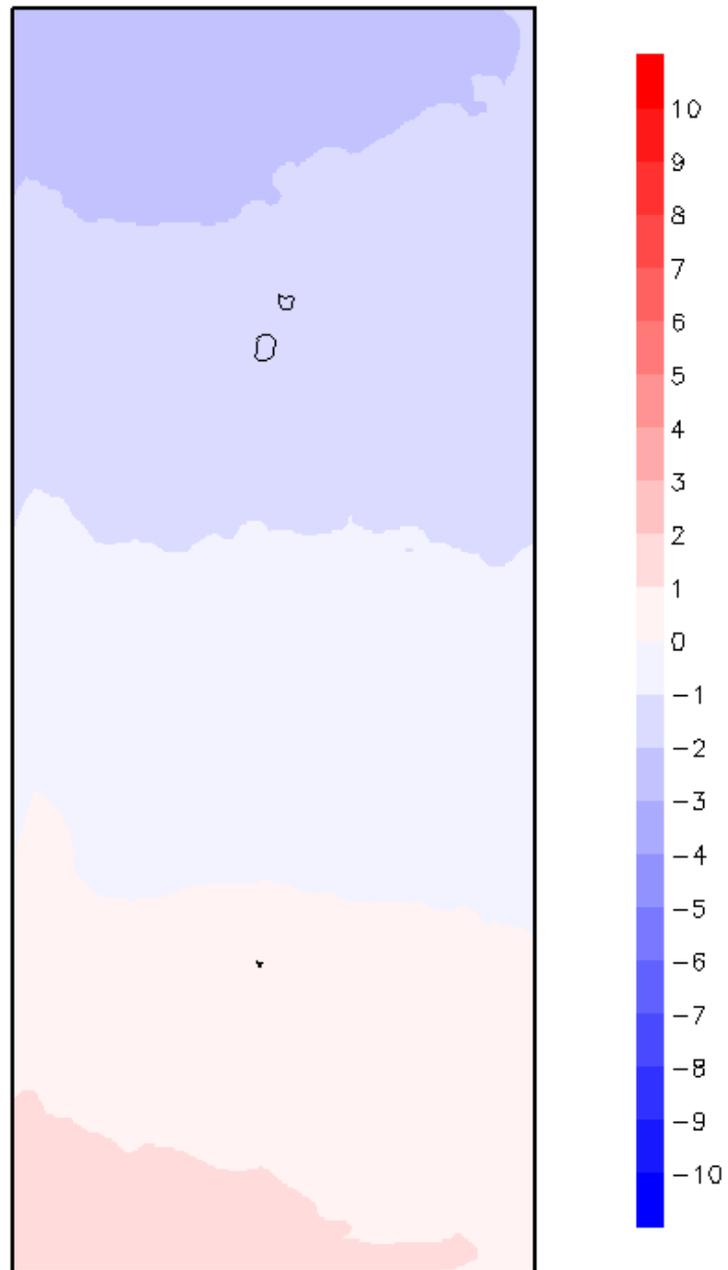


図 2-83 2001 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄③） [%]
 メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

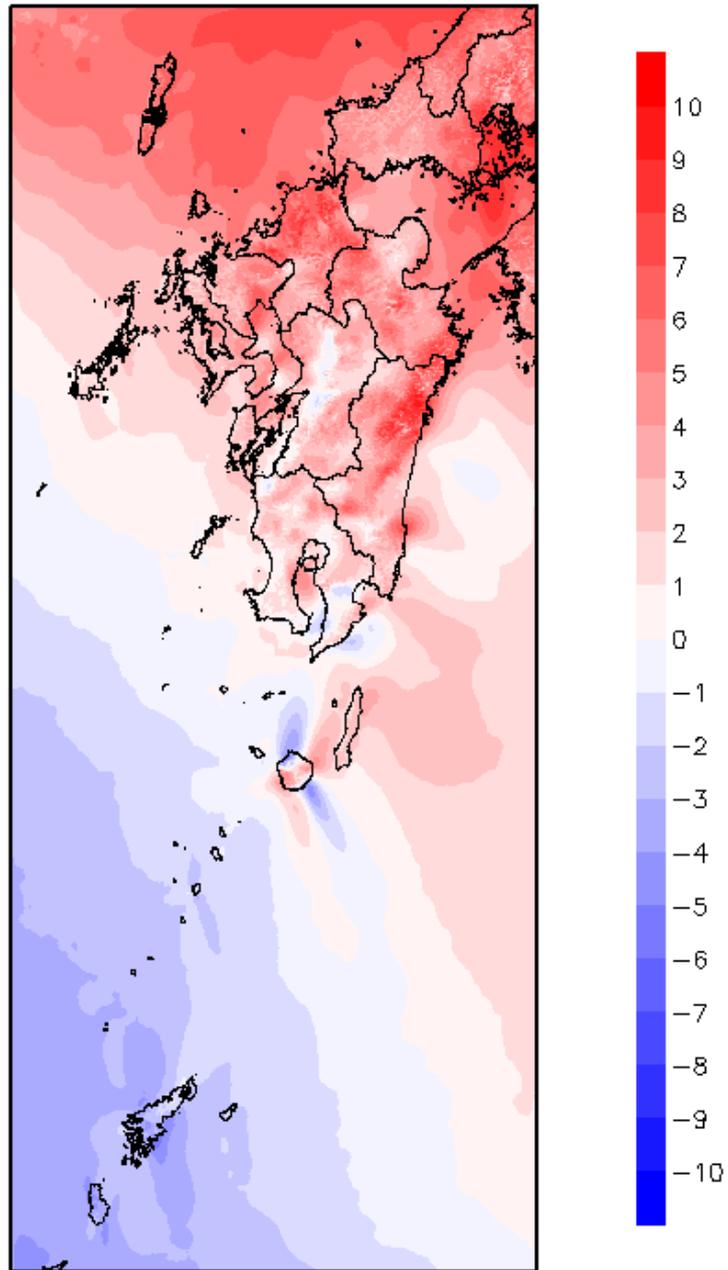


図 2-84 2002 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（九州） [%]
 メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

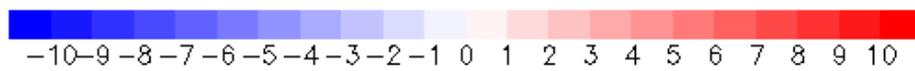
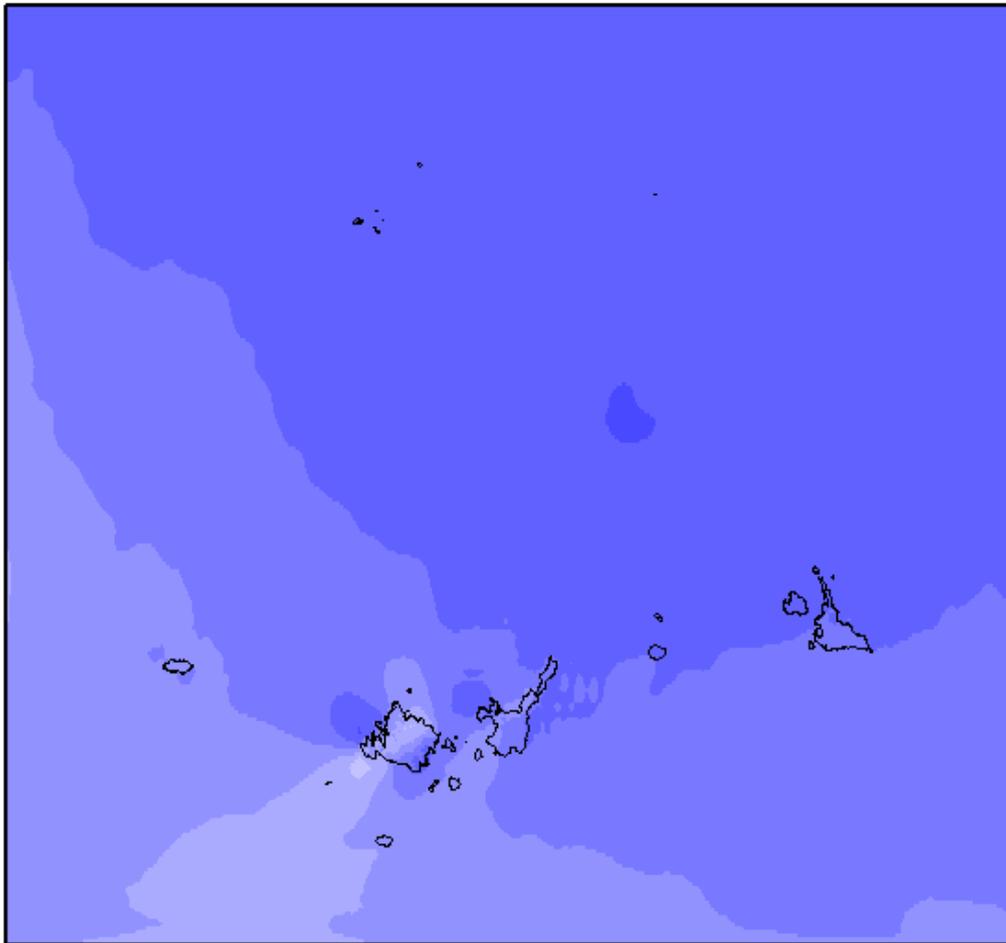


図 2-85 2002 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

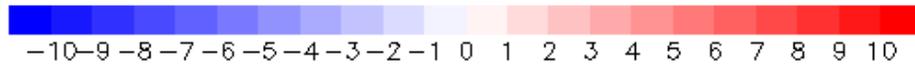
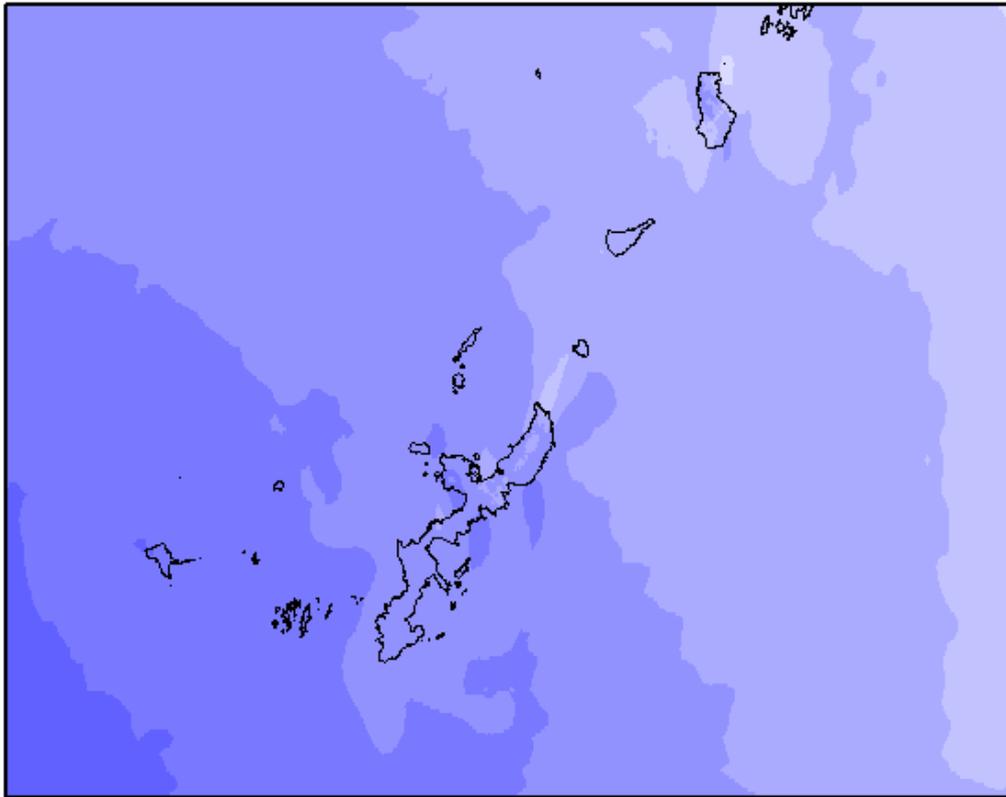


図 2-86 2002 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄②） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

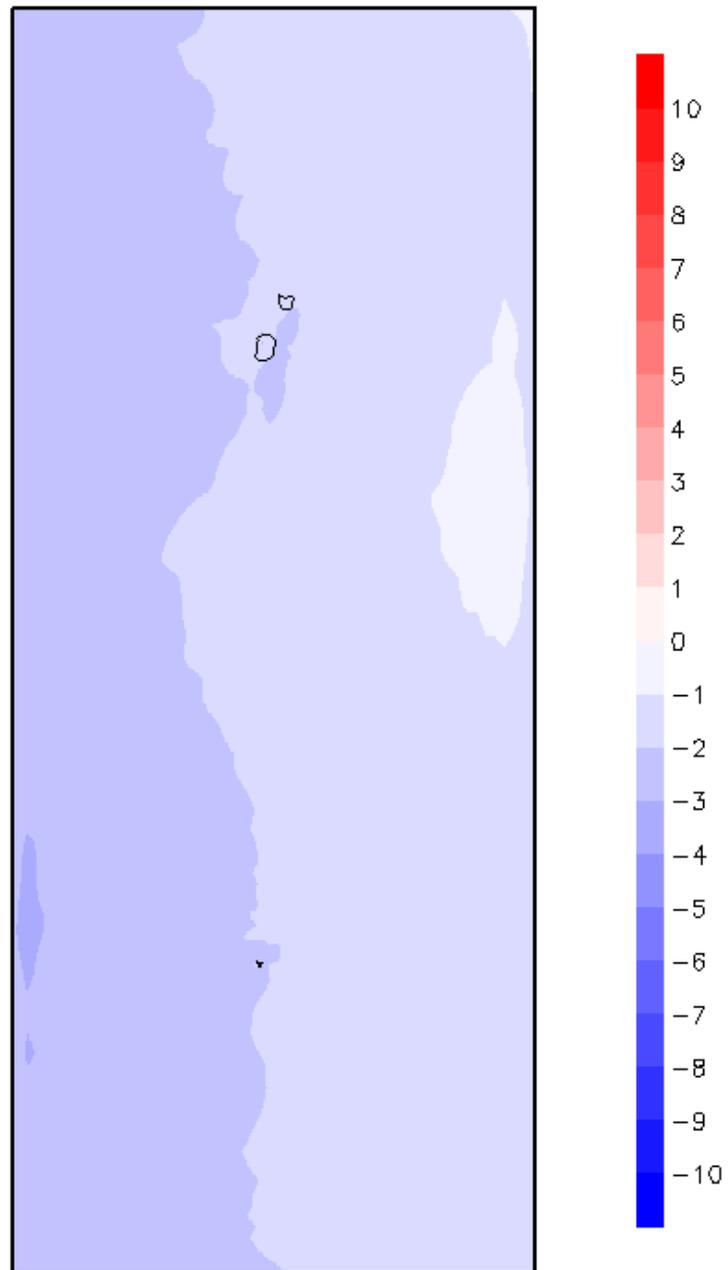


図 2-87 2002 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (沖縄③) [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

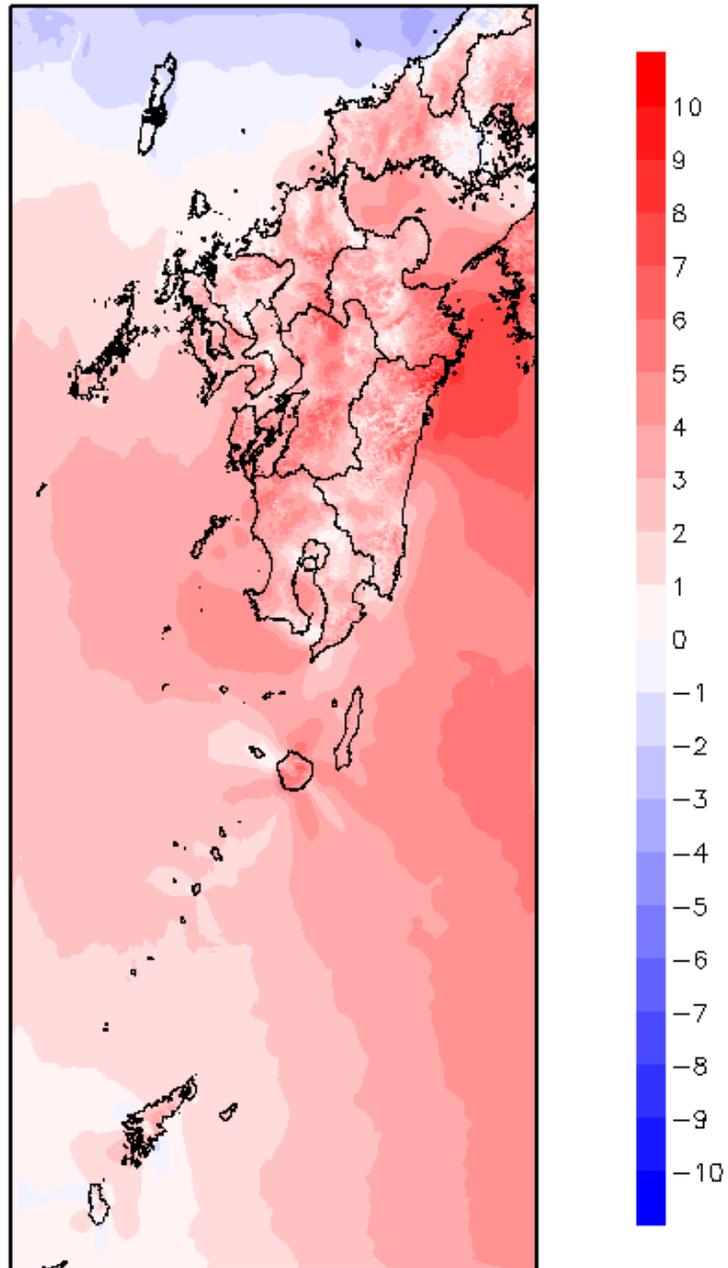


図 2-88 2003 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（九州） [%]
 メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

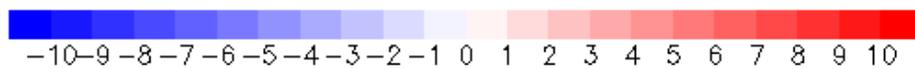
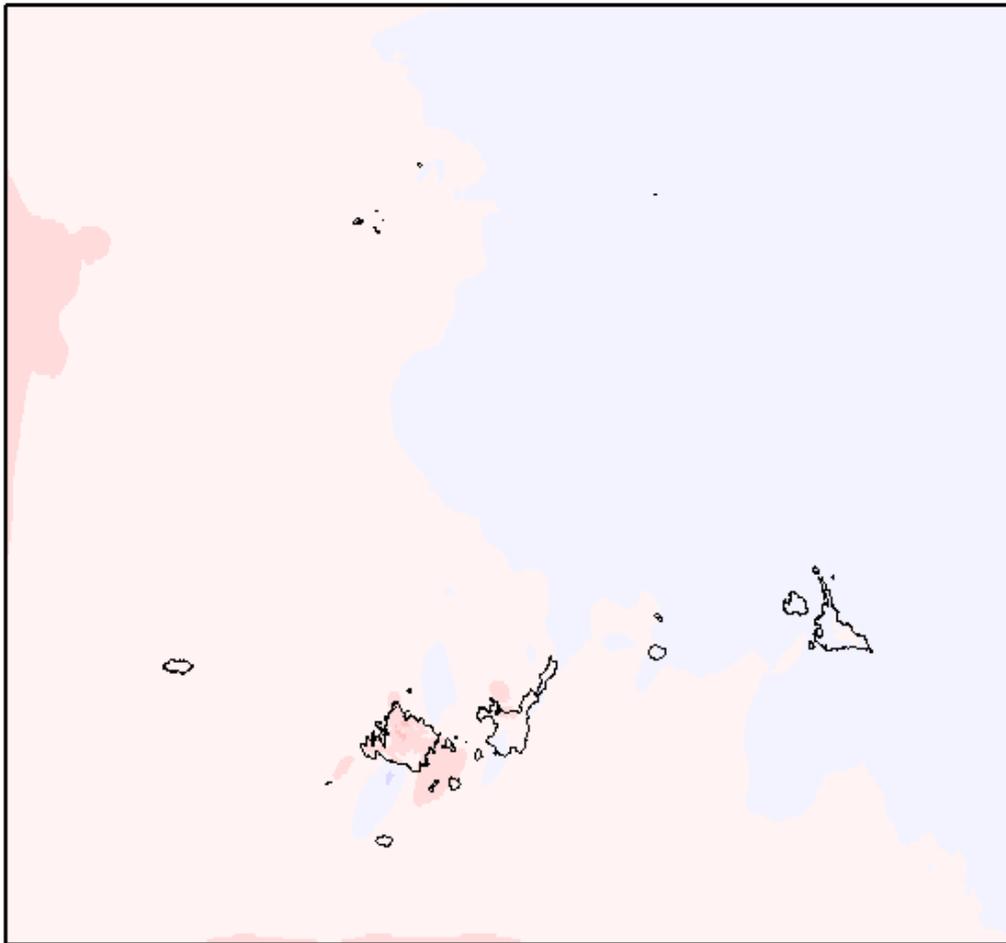


図 2-89 2003 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄①） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

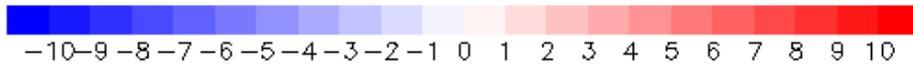
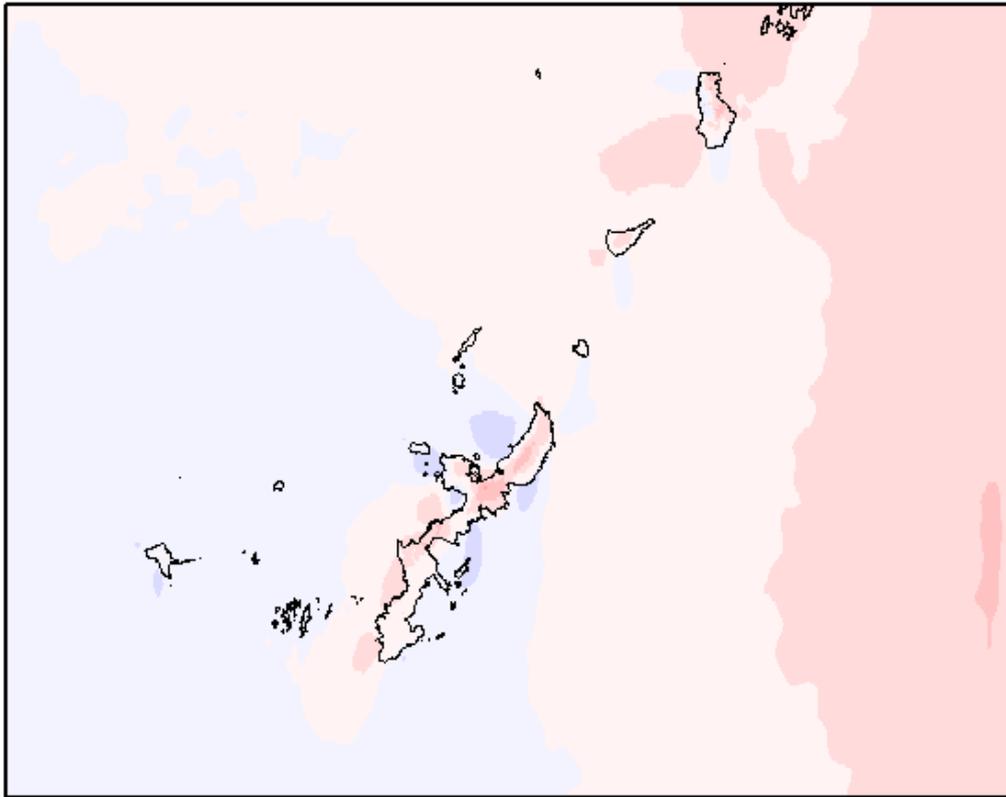


図 2-90 2003 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差 (沖縄②) [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

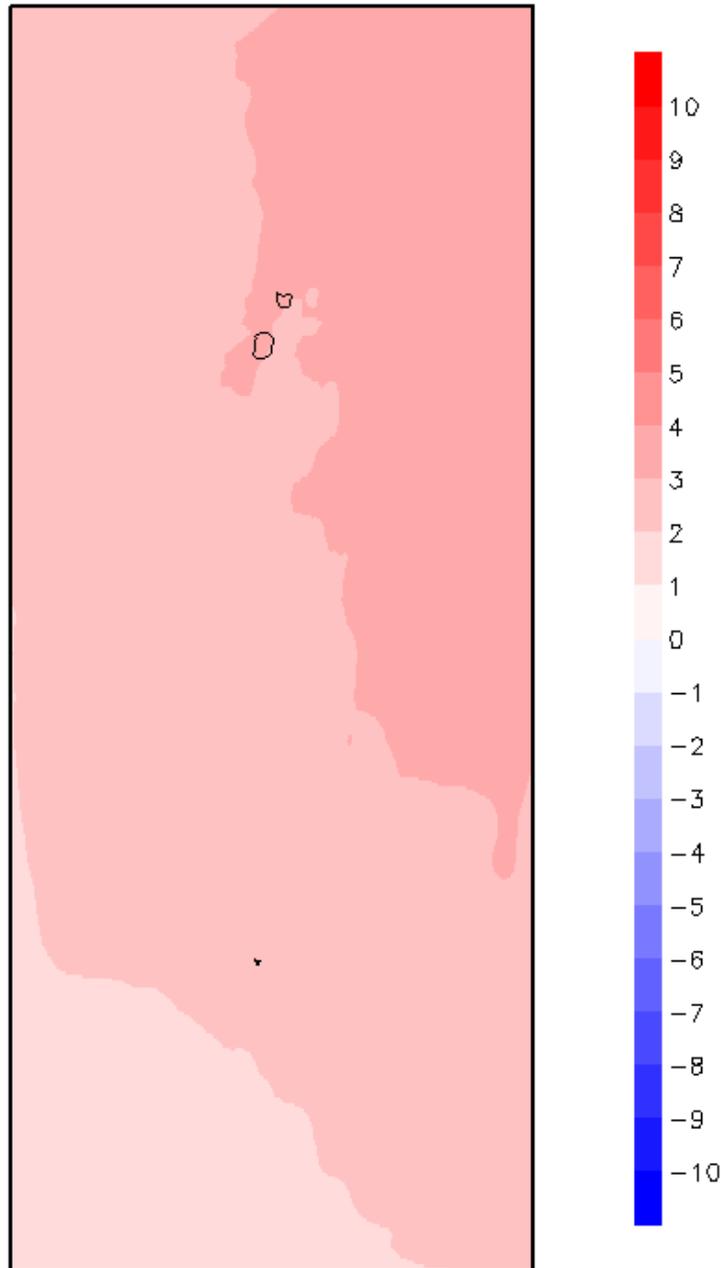


図 2-91 2003 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（沖縄③） [%]
メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した

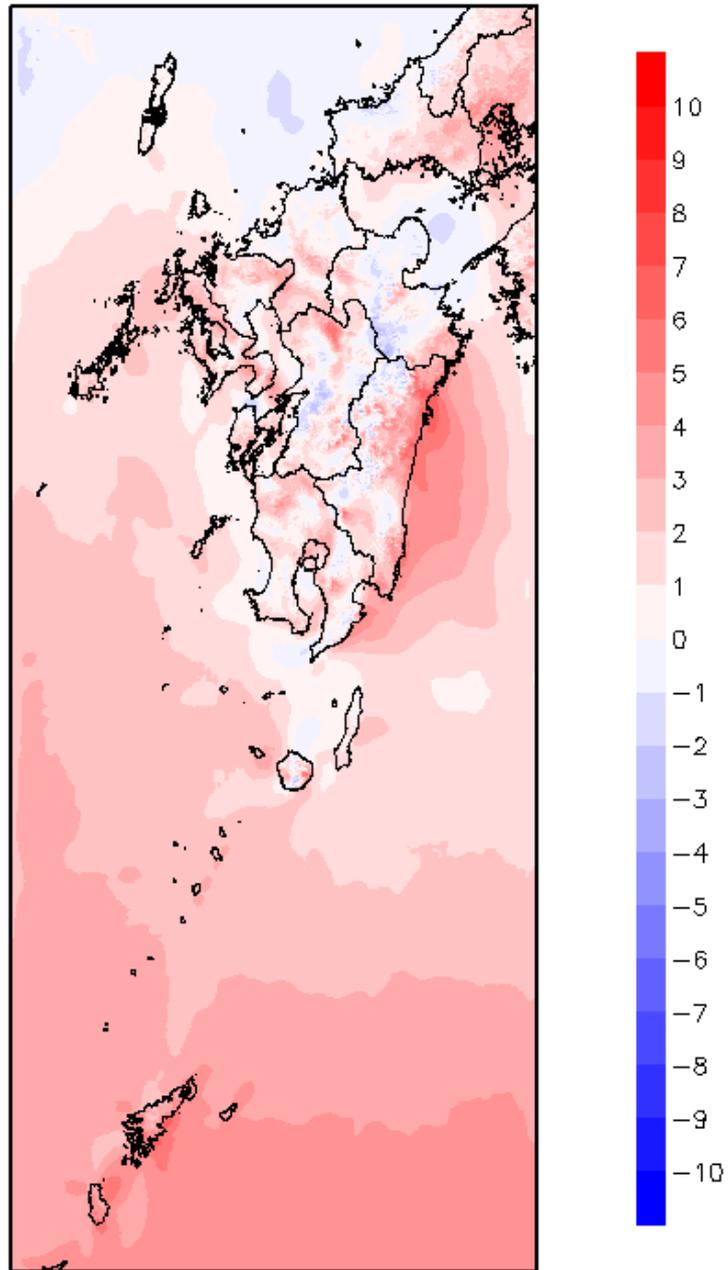


図 2-92 2004 年における年平均風速の 20 年平均風速からの偏差（九州） [%]
 メッシュ毎に 20 年間の年平均風速で規格化した