

新しい日本重力基準網 2011 の公表について Publication of new Japan Gravity Reference System 2011

岡村 盛司^{1*}, 宮崎 隆幸¹, 河和 宏¹, 海老名 頼利¹

Seiji Okamura^{1*}, Takayuki Miyazaki¹, KAWAWA, Hiroshi¹, EBINA, Yoritoshi¹

¹ 国土地理院

¹GSI of Japan

国土地理院は、最新の重力測定データから新しい日本重力基準網 JGSN2011 を構築した。日本における重力基準はこれまでに 2 回公表されており、最初の公表は国際重力基準網 1971(IGSN71) の重力値を基準として 1976 年に公表された日本重力基準網 1975(JGSN75) であり、JGSN75 は日本の重力基準として使用されてきた。2 回目の公表は 1997 年に公表した日本重力基準網 1996(JGSN96) である。JGSN96 は、全国に約 14,000 点ある二等重力点が結合されなかったが、JGSN75 より 1 桁精度が向上し学術成果として使用されてきた。

新しい日本重力基準網 JGSN2011 は、1997 年から開始した基準重力測定（絶対重力測定）および一等重力測定（相対重力測定）のデータである。東北地方においては 2011 年東北地方太平洋沖地震後に重力測定を実施し、地震の影響を反映した重力値となっている。

日本において 3 回目の重力基準網となる JGSN2011 は、精度は JGSN96 と同じであるが大幅に基準重力点を増やし、さらに重力点の位置精度の高精度化や解析時の潮汐補正の統一などを行い重力網の基準系を考慮している。このことにより IC-WG2.1 と IGFS の共同プロジェクトで進められている絶対重力データベース（AGrav）への参加登録を目指すとともに、国際的に議論されている Global Geodetic Observing System (GGOS) 等にも対応できるものとする。

本発表は、新しい日本重力基準網 (JGSN2011) の概要と今後の計画についての報告である。

キーワード: 重力基準網, JGSN, 絶対重力計,

Keywords: Gravity Standardization Net, JGSN, Absolute gravimeter

しらせ船上重力データの再処理 Reprocessing of Shirase shipborne gravity data

松崎 和也^{1*}, 福田 洋一¹, 野木 義史²
Kazuya Matsuzaki^{1*}, Yoichi Fukuda¹, Yoshifumi Nogi²

¹ 京都大学理学研究科, ² 国立極地研究所

¹Graduate School of science, Kyoto University, ²National Institute of Polar Research

本研究では日本南極地域観測隊 (JARE: Japanese Antarctic Research Expedition) により、これまでに得られているすべてのしらせ船上重力データについて、衛星高度計データに基づく最新の海域重力場データを基準としてドリフトやオフセットなどを補正することで、均質なデータセットを作成した。

JARE では、27 次観測隊 (JARE27) 以降、31,35,36,50 次を除き、しらせ船上での重力測定を実施している。これらのデータは、旧しらせで取得された JARE27-49 と、新しらせ就航後に取得された JARE51、52 に大きく分けることができる。さらに、旧しらせでのデータの内、JARE27-28 は NIPRORI-1 型重力計で JARE29-49 は NIPRORI-2 型重力計で取得されており、この間、データ収録装置や航法システムのアップグレードも行われている。旧しらせのデータの内、JARE27-46 については、既に小西ら (2006) によって衛星高度計データによる海域重力場モデル grav.img.11.1 (Sandwell and Smith, 2004) を基準にドリフトやオフセットなどが補正されている。一方で、JARE47 以降のデータではこのような補正がなされていないため、データにドリフトやオフセットが含まれる可能性がある。また、衛星高度計による海域重力モデルも grav.img.11.1 以降、CryoSat や Envisat など新しい衛星のデータが取り込まれ、長波長の重力場も EGM96 から EGM2008 に変更されるなど、大幅に改善されている。そこで、本研究では、最新の海域重力モデル grav.img.20.1 (Sandwell and Smith, 2012) を基準に、JARE で得られているすべての船上重力データの再処理を実施することにした。

具体的な処理の手順としては、小西ら (2006) にならい、まず、grav.img.20.1 から船上重力データの航跡に沿って重力異常の値を切り出し、船上重力データと比較を行った。その結果、JARE46 以前のデータについても、船の方向転換点などで局所的に大きな差があることや、オフセットやドリフトが取りきれないデータのあることが確認できた。また、JARE47 以降のデータでは大きなドリフトやオフセットが見られた。

これらを補正するために、船の方向転換点など差の大きなデータを除去した後、基本的には寄港地から寄港地までのデータを一区切りとして、ドリフトについては時間の多項式を仮定し補正を行った。発表では、衛星高度計重力データとの比較結果や補正後の航跡に沿っての重力データの詳細について報告する。

キーワード: 船上重力, 南極地域観測隊, 衛星高度計, ドリフト補正, 砕氷艦しらせ

Keywords: shipborne gravity, JARE, altimeter, drift correction, Ice breaker Shirase

2011年東北地方太平洋沖地震に先だって観測された海上重力変化 II Sea surface gravity changes observed prior to March 11, 2011 Tohoku earthquake II

坪井 誠司^{1*}, 中村 武史¹

Seiji Tsuboi^{1*}, Takeshi, Nakamura¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

昨年度の連合大会では、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の前に震央付近を通過した「みらい」の航海で、ほぼ同じ航跡を持つ二つの航海について、海上重力の観測値には時間変化が見られることを報告した。ここでは、この海上重力観測値の信頼性を検討すると共に、スロースリップから期待される重力変化を見積もり、観測と比較したので報告する。海上重力観測値は海洋研究開発機構が運用する海洋観測船「みらい」のMR10-06とMR11-02について比較した。MR10-06は2010年11月13日に、MR11-02は2011年2月11日に震央付近を通過し、海上重力の定常観測を実施している。航跡の差は最大で2km程度である。観測値は北緯37.6度付近までは一致しているが、36.6度から37.6度付近ではMR11-02の観測値が深度の補正を施しても2-3mgal程度増加しているように見える。海上重力は海底の深度により大きく影響を受けるので航跡の差によりこのような重力値の差が生じる。海上保安庁水路部による海底地形データに基づいた二つの航跡の違いによる水深の違いを補正すると、MR11-02では、深度は浅いにもかかわらず重力値は大きくなる傾向が見られる。これらのことから、MR11-02の海上重力定常観測が信頼出来るものであるならば、2010年11月と比較して2011年2月にはこの海域で海上重力値が増加していた可能性がある。この増加を海底下の構造の変化と考えるならば、断層面上における物性変化を反映している可能性がある。Ozawa et al (2012) は2011年1月までの10年間で2011年東北沖地震の震源域でMw7.7に相当するスロースリップがあったことを報告している。このスリップ量に相当する重力変化をSun et al (2009) のプログラムにより計算したところ、0.3 mgal程度となり、観測された重力変化を説明できないことが分かった。観測された重力変化は、地震前1ヶ月程度の急激な海底の隆起、あるいは断層面における密度増加が原因である可能性がある。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 海上重力

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, shipboard gravity survey

SLR 低次重力解でみる極域氷床の質量変化 Mass changes in polar ice sheets from low-degree gravity field by SLR

松尾 功二¹, Benjamin Fong Chao³, 大坪 俊通², 日置 幸介^{1*}
Koji Matsuo¹, Benjamin Fong Chao³, Toshimichi Otsubo², Kosuke Heki^{1*}

¹ 北海道大学, ² 一橋大学, ³ 台湾中央研究院

¹Hokkaido University, ²Hitotsubashi University, ³Academia Sinica, Taiwan, ROC

The majority of the land ice on earth lies in Antarctica and Greenland as continental ice sheets. Recent climate changes have brought about the significant ice melting in these regions. The space mission of Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), launched in 2002, enables direct measurements of such mass losses over extensive areas. According to the GRACE observation during 2003-2010, the polar ice sheets experienced mass loss at the rates ~ 390 Gt/yr, amounting to $\sim 70\%$ of the total ice loss globally in the same period (Jacob et al., 2012). These massive and extensive mass losses can also be detected by the Satellite Laser Ranging (SLR) technique. Although limited in spatial resolution, the SLR data have been available for a longer time span of 1991-2011. Here we calculated the changes in the earth's gravity field using the monthly Stokes coefficients up to degree and order 4 estimated from both SLR and GRACE. Then we corrected the results for the contributions of Glacial Isostatic Adjustment using the model of Paulson et al. (2007). Between 2003 and 2011, the linear trend map of the gravity field from SLR shows significant negative patterns in Greenland and Antarctica, agreeing well with that from GRACE. However, seen from SLR data, the gravity trend map between 1991 and 2011 shows different behaviors: near-balance in Greenland prior to 2002 and shifting to decreasing afterwards. The gravity in West Antarctica also shows similar trends as Greenland, but that in East Antarctica shows opposite trends. These results imply that the mass balances in the polar ice sheets might be affected by some decadal climate variability.

キーワード: 測地学, 極域氷床, 重力変化

Keywords: Geodesy, Polar ice sheets, Gravity change

東濃地震科学研究所重力観測点周辺の環境変化による重力変化シミュレーション Gravity change simulations of various environmental changes around TRIES gravity stations

本多 亮^{1*}, 田中 俊行¹, 木股 文昭¹
Ryo Honda^{1*}, Toshiyuki Tanaka¹, Fumiaki Kimata¹

¹ 公益財団法人地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

¹Tono Research Institute of Earthquake Science, Association for the Development of Earthquake Predict

The Tono Research Institute of Earthquake Science (TRIES) has been operating absolute gravity measurement since 2004, with Micro-g LaCoste FG-5 absolute gravimeter. From the beginning of the observation, gravity values do not show variation larger than 10 micro Gals. The excavating of two vertical shafts and horizontal caves for research in Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) is the largest action. It has been carried out by Japan Atomic Energy Agency (JAEA) since 2004. The shaft excavation site is vicinity of two gravity measurement stations, MGA and TGR. The drawdown of water depth level accompanying the excavation is observed around the site. Besides, the leveling which has been carried out since 2004 detected at most 17 mm subsidence near the TGR gravity station. The artificial topographic change might be also effective. We examined the gravitational effect of such environmental changes around our stations.

The effect of the tunnel excavation is estimated based on a detailed drift way model, which was provided by JAEA. The original model is prepared as a wire frame data. We arranged the wire frame model to the grid data. Then we adopted the method of Banerjee and Gupta (1977), which calculates the vertical component of the theoretical attraction force of rectangular prism.

The artificial topographic change took place near the TGR station. It was the elimination of crest and the infill of a channel. The effect of the topographic change is estimated by Digital Elevation Map (DEM). The latest DEM is provided by Geographical Survey Institute of Japan (GSI) as a 5 m grid model. We made an old DEM by digitizing altitude contours of the 1:1000 map of Mizunami city, which was published in 1986. The difference of the two DEM is employed to the attraction force calculation.

The detected subsidence was simply applied to a free-air gravitational effect. As a result, the total gravity change estimated for these various environmental changes was less than 5 micro Gals. The remaining problem is the change of the ground water level. We must explain the mechanisms of large ground water level change, which does not affect gravity values.

Banerjee, B. and S. P. D. Gupta (1977): Gravitational Attraction of a Rectangular Parallelepiped, *Geophysics*, 42, 1053-1055.

キーワード: 重力, 重力変化

Keywords: gravity, gravity change

九州大学伊都キャンパス周辺における重力変化

Gravity changes around Ito campus, Kyushu University by using relative and absolute gravity measurement

西島 潤^{1*}, 藤光 康宏¹, 福田 洋一²

Jun Nishijima^{1*}, Yasuhiro Fujimitsu¹, Yoichi Fukuda²

¹九州大学大学院工学研究院, ²京都大学大学院理学研究科

¹Faculty of Engineering, Kyushu University, ²Graduate school of Science, Kyoto University

九州大学伊都キャンパス周辺では、新キャンパス造成に伴う地下水位変化をモニタリングするために30本の地下水位観測井を用いて造成前より観測を行っている。また、本地域ではキャンパス造成前に Scitrex 社製 CG-3M を使用した繰返し重力測定が行われており、地下水位変化と重力変化の間に概ね良い相関が見られた。本研究ではキャンパス造成後の2009年より Scintrex 社製 CG-5 重力計を用いて繰返し重力測定を開始した。しかし、新キャンパス造成工事に伴い以前使用していた観測点がほとんど使用できなくなっていたため、地下水位観測井近傍で測定が良い場所を選定し、12点の観測点で観測を行った。

観測の基準点は、伊都キャンパス内のウエスト2号館111号室内の観測点 IBM1 を用いた。過去の観測で問題になっていた基準点自体の重力変化を観測するため、Micro-g LaCoste 社製 A10 絶対重力計を導入し2008年1月より観測を開始した。IBM1 の重力変化は梅雨時期に重力が増加し(最大25マイクロガル)、秋から冬にかけて重力が減少する季節変化が見られた。この重力変化と IBM1 より約200m離れた観測井の地下水位データ(九州大学新キャンパス計画推進室)との比較を行ったところ、非常に良い相関が見られた。そこで、観測された重力変化と地下水位変化の関係を定量的に評価するために Gwater-1D (風間ほか, 2010) を用いて地下水分布変化に伴う重力変化の計算を行った。本計算で用いる土壌パラメータは、観測井近くの土壌サンプルの土質試験から決定した。この結果、観測された重力変化は地下水分布変化でほぼ説明できることが分かった。このことから、基準点の重力変化は降水量と地下水位変化より予測することが可能となり、A10 絶対重力計の欠測期間中も Gwater-1D を用いることによって補正することが可能となった。

基準点の重力変化を CG-5 重力計の観測結果に補正後、地下水位観測データ(九州大学新キャンパス計画推進室)との比較を行った結果、12観測点中8観測点で地下水位変化と重力変化の間に良い相関が見られた。相関が見られなかった観測点は、降水の影響を大きく受けて短時間に大きく水位が変化するものが多かった。また、地下水位変化と逆相関が見られる観測点もあった。この観測点近傍には観測点より標高が高い位置にため池があり、観測された逆相関はこの水位変化の影響を受けていると考えられる。

なお、本キャンパスでは移転工事が継続中であり、工事に伴う地形変化や水理構造の変化が観測結果に少なからず影響を与えていることも考えられる。今後、造成工事の影響も含めて考察することで、重力変化と地下水位変化との関係を明らかにすることが可能になると考えられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、総合地球環境学研究所の Micro-g LaCoste 社製 A10 絶対重力計を使用させて頂きました。また、地下水位観測データは九州大学新キャンパス計画推進室より御提供頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

風間卓仁・田村良明・大久保修平(2010)地下水流動計算プログラム Gwater (版)について,日本測地学会第114回講演会要旨集,133-134.

キーワード: A10 絶対重力計, ハイブリッド重力測定, 地下水位変化, 重力変化

Keywords: A10 absolute gravimeter, Hybrid gravity measurement, Groundwater level monitoring, Gravity changes

経験的および物理的モデルを用いた陸水起源の重力応答の数値計算：インドネシア・チビノン为例に

Numerical estimations of hydrological gravity changes at Cibinong, Indonesia with empirical and physical models

板倉 統^{1*}, 風間 卓仁¹, 福田 洋一¹

Matomu Itakura^{1*}, Takahito Kazama¹, Yoichi Fukuda¹

¹ 京都大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kyoto University

重力観測は質量移動を検出するのに有効な方法の1つであり、地震時地殻変動・火山活動・二酸化炭素貯留量変化などを監視できると考えられている。しかしながら、降水に伴って約0.04 micro-gal/mmだけ重力値が変化するので、特に豪雨時には前述の重力シグナルを覆い隠してしまう可能性がある。重力シグナルを適切に抽出するためには、降水・土壌水・地下水に伴う重力擾乱を精度よく補正する必要がある。

そこで本研究では、インドネシア・チビノンで観測された重力連続データ(2009年3月~2012年1月)を例に、地下水および土壌水の重力応答を経験的に求めて補正した。まず、並行観測された地下水位データに対する重力変化の比例係数を計算したところ、比例係数は+0.12 micro-gal/cmであり、岩手県の胆沢扇状地で得られている比例係数(+0.16 micro-gal/cm; 花田ほか, 1990)と同程度であった。次に、地下水起源の重力変化を観測データから差し引くと、その重力残差には二乗平均平方根(RMS)にして1.7 micro-galの重力変化が依然残されていた。この重力変化は降雨が土壌に浸透して地下水になる前の土壌水による重力変化であると考えられるため、本研究ではさらに降雨に対する重力残差の応答関数を求めた。

その結果、地下水および土壌水の経験的補正を行うことによって、2011年4月~2011年6月の重力観測データをRMSで0.51 micro-gal以内に再現できることが分かった。一方で、2011年4月以前の重力観測データではRMSが1.8 micro-galとなり、土壌水の寄与を考慮しても重力データを精度良く補正することができなかった。この原因としては、土壌中の水流動が非線形の物理で支配されているため、線形性を仮定した経験的モデルに限界があると考えられる。今後は、水流動の物理モデル(Kazama et al., 2012)を使用して、より現実的で再現性の高い陸水分布および重力変化を数値的に計算する予定である。

2012年5月と12月の琉球弧の長期的スロースリップに伴う絶対重力変化 Absolute gravity changes caused by long-term slow slip events in Ryukyu in May and December 2012

田中 愛幸^{1*}, 岡村 盛司², 宮崎 隆幸², 風間 卓仁⁵, 名和 一成⁴, 今西 祐一¹, 大久保 修平¹, 中村 衛³

Yoshiyuki Tanaka^{1*}, Seiji Okamura², Takayuki Miyazaki², Takahito Kazama⁵, Kazunari Nawa⁴, Yuichi Imanishi¹, Shuhei Okubo¹, Mamoru Nakamura³

¹ 東京大学地震研究所, ² 国土交通省国土地理院, ³ 琉球大学理学部, ⁴ 産業技術総合研究所, ⁵ 京都大学理学研究科

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Geospatial Information Authority of Japan, ³Faculty of Science, University of the Ryukyus, ⁴National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ⁵Graduate School of Science, Kyoto University

海溝型大地震の震源域付近で検出されているスロースリップの発生には高圧間隙流体が関与していることが示唆されている。スロースリップの発生間隔は地域によって異なり、その原因は一般にはテクトニックな応力の蓄積速度の違いやプレート境界の摩擦状態の違いが原因と考えられる。しかし、スロースリップの繰り返しサイクルの間に流体圧が変化した場合にも断層強度が変化するので、それによっても発生周期は異なるだろう。このような流体圧の変化は Sibson (1992) の fault valve behavior 等でモデル化されているが、流体圧の変動自体がフィールドでの観測により捉えられたことはない。大量の高圧流体の変動が生じれば、地下の密度変化が生じるので、地表で重力を観測することで変動を推定できる可能性がある。東海地方では、2000年から2006年ごろまで長期的スロースリップが発生したが、2004年から2009年まで年2回のキャンペーン観測により捉えられた重力変化は、流体圧の変動と解釈し得ることが示されている。しかしながら、観測頻度が低く、観測精度が十分でないこと、また、スロースリップの最後の方の変化しか観測されていないことから、はっきりとした流体圧変動の証拠はまだない。本研究では、スロースリップの1サイクルをカバーする重力変化を捉えることを目的として、約半年に1度生じる八重山のスロースリップを対象に、2011年末から連続重力観測を開始した。精度を上げるためにFG5絶対重力計2台と超伝導重力計1台を用いている。スロースリップを対象としたこのような高精度連続観測は、技術的な困難からこれまで実施してきた例がなかった。講演では、絶対重力計によりこれまでに捉えられた2回のスロースリップ中及びその前後の重力変化について報告する。

キーワード: スロー地震, スロースリップ, 流体, 重力, 地震サイクル, 沈み込み帯

Keywords: slow earthquake, slow slip, fluid, gravity, earthquake cycle, subduction zone

八重山諸島における土壌の物理パラメーターとその不均質性：地下水流動に伴う重力擾乱の高精度な計算に向けて Soil parameters and their heterogeneities at Yaeyama Islands for precise estimation of hydrological effects on gravity

風間 卓仁^{1*}, 名和 一成², 田中 愛幸³, 今西 祐一³
Takahito Kazama^{1*}, Kazunari Nawa², Yoshiyuki Tanaka³, Yuichi Imanishi³

¹ 京都大学, ² 産総研, ³ 東大地震研
¹ Kyoto Univ., ² GSJ, AIST, ³ ERI, Univ. Tokyo

日本の南西部に位置する八重山諸島では、スロースリップ現象に伴う重力変化を検出するため、2011年以降超伝導重力計および絶対重力計による重力連続観測が行われている。しかしながら、八重山諸島は年間2200mm(東京の約1.5倍)という多雨地域でもあるため、降水・地下水流動に伴う重力擾乱によってスロースリップ起源の重力シグナルが検出できなくなる可能性がある。スロースリップ起源の重力変化を定量的に議論するためには、水理モデルなどによって地下水擾乱を正しく補正する必要がある。

そこで我々は、地下水起源の重力擾乱を精度よく計算するために、八重山諸島の土壌の物理パラメーターを測定した。具体的には、まず2012年11月13日~15日にかけて、重力観測点(全3点)にて100ccの土壌コアを計12個採取した。そして、これらのコアに対して土質試験を行い、空隙率(n)と飽和透水係数(k_s)を以下のように見積もった。

石垣島地方気象台: $n = 0.419$ [m³/m³], $k_s = 7.2 \text{ E-}6$ [m/s]

VERA 石垣島観測局: $n = 0.385$ [m³/m³], $k_s = 4.9 \text{ E-}6$ [m/s]

琉球大学西表研究施設: $n = 0.387$ [m³/m³], $k_s = 9.8 \text{ E-}7$ [m/s]

当日の発表では、これらの土壌パラメーターを使用して、地下水時空間分布や重力変化をモデル化した結果を紹介する。また、八重山諸島の砂丘で採取した砂丘砂についても土質試験を行う予定であり、この土壌パラメーターの空間不均質性についても考察する。

キーワード: 重力変化, スロースリップ, 八重山諸島, 土壌パラメーター, 地下水モデリング, マージ

Keywords: gravity change, slow slip event, Yaeyama Islands, soil parameter, hydrological modeling, maaji soil

重力観測の精度向上に向けた国立天文台石垣島観測局下堆積層内のP波速度解析 Rough Estimate of P-wave Velocity beneath the VERA Ishigaki Island Station for Improving Accuracy of Gravity Analysis

大滝 壽樹^{1*}, 名和 一成¹

Toshiki Ohtaki^{1*}, Kazunari Nawa¹

¹産総研

¹GSJ, AIST

スロースリップ時の高圧流体の移動による重力変化を検出するために、2012年2月に超伝導重力計が国立天文台 VERA 石垣島観測局に設置された。この石垣島から西表島の下ではほぼ半年ごとに1ヶ月程度継続するスロースリップイベントが発生している。このため石垣島は、イベントの発生から終息にかけての全期間と重力変化との関係を比較的短期間の観測で調べるのに適している。しかし、期待される地表での重力変化は微弱のため、高分解能かつ長期間安定した重力観測に加えて、同等な精度での環境擾乱の補正が必要になる。

環境擾乱の一つとして、雨水による浅部の密度変化がある。この石垣島の VERA 観測局は堆積層上にあるため、雨水が観測値に影響する可能性がある。P波速度は水に飽和すると反対に大きく増加するため、この地下水擾乱の影響の評価のためにP波速度とその時間変化を求めることは有効である。この観測局でのP波速度の探査は、遠隔地であることと予算等の制約から、簡単な手法によるものが望ましい。また時間変化が捉えられるよう、連続観測あるいは繰り返し観測が望ましい。この目的に合う手段として、自然地震の直達P波の走時を利用することが考えられる。

この VERA 観測局内には固有周期1秒の3成分地震計1台が2012年3月初めに設置されている。本講演ではこの VERA 観測局と近傍の F-net 観測点への3つの遠地地震の直達P波の走時差を解析する。VERA 観測局は厚さ15mの堆積層上にある。一方、F-net 観測点は花崗岩体内にある。これらの観測点は1kmほどしか離れていないため、これら観測点への波線は観測点直下のごく表層を除けばほぼ同一である。したがって、震央距離の差を補正した後の走時差は観測点直下の構造の違いを反映している。この走時差より VERA 観測点下の堆積層内のP波速度を求め、この層の水の飽和度およびこの点での雨量との相関について議論する。