

論文

沖縄島北部森林の森林蒸発散量に関する研究 (I) *1

— 森林地域の気象観測露場データによる可能蒸発散量の推定 —

新垣拓也*2・生沢 均*2・古堅 公*3・壁谷直記*4・清水貴範*5・飯田真一*5・清水 晃*4

新垣拓也・生沢 均・古堅 公・壁谷直記・清水貴範・飯田真一・清水 晃：沖縄島北部森林の森林蒸発散量に関する研究 (I) — 森林地域の気象観測露場データによる可能蒸発散量の推定 — 九州森林研究 67: 40 - 44, 2014 新垣ほか (2013) では沖縄県国頭村の西銘岳周辺に設置された気象観測露場のデータを用いて、純放射量に関する項目がない中で、純放射量を露場で観測されている各要素により推定するモデルを使用して、ペンマン式による森林の可能蒸発散量を算出した。その後、気象観測露場の整備に伴い、放射収支計を追加した。そこで、本報告では、新垣ほか (2013) で使用したモデルによる純放射量の推定方法について実測値との比較を行い、適合度を検討すると共に、各純放射量を用いたペンマン法による可能蒸発散量を計算、比較し、適合度を検討した。その結果、純放射量推定モデルによって推定された純放射量の値は精度が高く、この値を使用したペンマンの可能蒸発散量の算出方法は精度が高いことが分かった。これにより、純放射量の観測項目が足りない場合でも、一般的な露場観測要素からペンマン式を活用した可能蒸発散量の推定が可能であることが示唆された。

キーワード：島嶼環境、気象観測露場、ペンマン式、可能蒸発散量、日射量

I. はじめに

沖縄県沖縄本島北部のヤンバルと呼ばれている森林地域は、亜熱帯島嶼特有の生態系を保有しており、自然環境の保全に関心が集まっている。一方、北部森林地域は沖縄県の林業の中心地となっており、木材資源の生産や温暖化防止に寄与する炭素吸収源として積極的な森林施業が求められている。そのため、自然環境の保全と木材資源の利活用の両立が今後この地域の持続的発展を遂げる上で緊急な課題となっている。しかしながら、動植物の生育基盤である沖縄本島北部森林域の環境を測定した結果は少なく、どのような環境になっているのかはよく分かっていない。このような状況に対して筆者らは2009年から本森林地域に気象観測露場を設置すると同時に様々な森林タイプ毎に林内気象の観測を開始した (清水ほか, 2011; 比嘉ほか, 2011)。

新垣ほか (2013) では、2010年の気象観測露場のデータを用いて、生物の生育環境に多大な影響を有する森林の蒸発散量について、ペンマン式の適用により、北部森林地域の可能蒸発散量を推定した。しかしながら、ペンマン式の計算要素の一つである純放射量について、本露場には計測機器が取り付けられておらず、この項目に関して、露場で観測されている各要素から推定するモデルを使用して、蒸発散量の推定を行った。ペンマン式の適用にあたっては、できるだけ多くの要素を実測した上で計算を行うことが望ましく、また、露場の観測要素の充実の観点からも純放射量の要素を含むことが重要であるため、2013年1月より、新たに放射収支計を追加設置して観測を開始した。本報告では、新垣ほか (2013) で使用したモデルによる純放射量の推定方法につい

て、実測値との比較を行い、適合度を検討すると共に、各純放射量を用いたペンマン法による可能蒸発散量を計算して、比較したのでその結果を報告する。

II. 調査地および方法

1 調査地

気象観測露場は沖縄県国頭村の西銘岳山頂北側のチヌフク林道沿いに設営された (図-1)。この場所は、林道建設時に造成された残土上のオープンスペースを活用し、周囲の森林から直接的な影響を受けない場所となっている。



図-1. 気象観測露場の位置図

2 各気象要素の観測

2009年3月より、設営された露場において各種気象観測が開始された。2009年より観測を開始した気象要素は、日射量、風向、

*1 Arakaki, T., Ikuzawa, H., Hurugen, H., Kabeya, N., Shimizu, T., Iida, S. and Shimizu, A.: Research on the forest evapotranspiration in northern part of Okinawa Island (I) - Estimation of potential evapotranspiration based on the data of the weather measurement station in a forest area.

*2 沖縄県森林資源研究センター Okinawa Pref. For. Resour. Res. Ctr., Okinawa 905-0017, Japan.

*3 一般財団法人沖縄県環境科学センター, Inc. Okinawa Pref. Environment Science Ctr., Okinawa 901-2111, Japan.

*4 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center., For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862, Japan.

*5 森林総合研究所 For. Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687, Japan.



写真-1. 気象観測露場

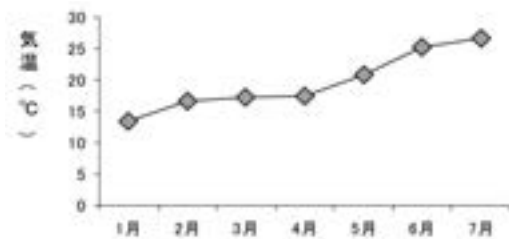


図-2. 2013年1月～7月の日平均気温 (°C)

風速、温度、湿度、降水量である。露場内の基礎ブロックおよびコンクリートで固定された三脚を土台として鉛直方向に設置したポールに、全天日射計（デルタオーム社、LP PYRA 03）、風向風速計（MetOne社、034 B Windset）を南北方向に伸ばしたアームにそれぞれ取り付け（地上高約3m）、温湿度計（Visala社、HMP-45 A）は通風シールドに納め、直接ポールに取り付けた（地上高1.5m）。転倒弁式雨量計（ウイジン社、U-Dot、1転倒0.5mm）はポールから離れた場所に、地上高1.5mで設置した。

2013年1月より、観測要素に放射収支計（REBS社、Q7）を追加した。放射収支計は全天日射計と同じ高さに、相互に干渉し合わないよう注意して、南南西方向へ伸ばしたポールに設置した（写真-1）。

温度、湿度、風向、風速、全天日射、純放射量の観測インターバルは10秒であり、10分毎に平均して記録した。降水量は10分毎の積算値を記録した。各データは一括してデータロガー（キャンベル社製、CR1000）に記録した。

3 ペンマンの計算式と純放射量の推定式

新垣ほか（2013）では本地域の蒸発散量の指標を得ることを目的とし、2010年の観測露場データを用いてペンマン式による可能蒸発散量の推定を行った。以下に、可能蒸発散量の推定に使用したペンマンの計算式を示す。なお、ペンマンの計算式は、三浦・奥野（1993）及び服部（1985）に従った。

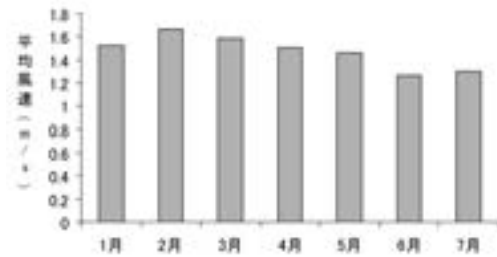


図-3. 2013年各月の日平均風速 (m/s)

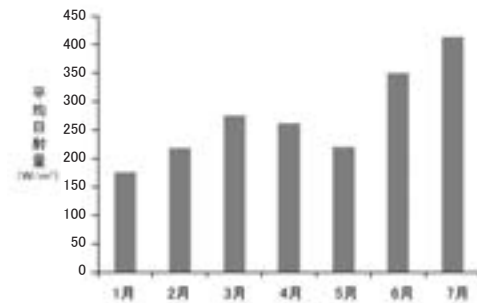


図-4. 2013年各月の平均日射量

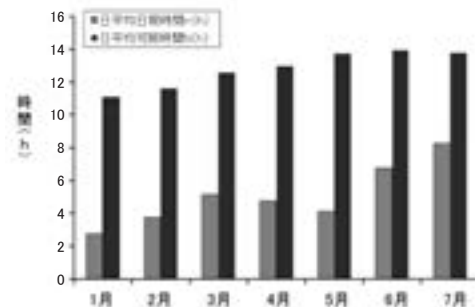


図-5. 2013年各月の日平均日照時間

$$ET_{Pen} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{S}{\ell} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot f(u) (e_{sa} - e_a) \dots \dots (1)$$

ET_{Pen} : ペンマンの蒸発散位 (mm)

S : 純放射量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)

$$S = (1 - \alpha) Q_a (0.18 + 0.55 n/N)$$

$$- \sigma (t + 273.2)^4 (0.56 - 0.092 \cdot 0.866 \sqrt{e_a}) (0.1 + 0.9 n/N)$$

$\dots \dots (2)$

Q_a : 大気圏外日射量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)

Δ : 気温 t での温度飽和水蒸気圧曲線の勾配 ($\text{mbar} \cdot \text{C}^{-1}$)

γ : 乾湿計定数 ($= 0.66 \text{ mbar} \cdot \text{C}^{-1}$)

ℓ : 水の蒸発潜熱 ($\text{Mj} \cdot \text{kg}^{-1}$)

$$\ell = 2.5 - 0.0024 \times t$$

$f(u) (e_{sa} - e_a)$: ダルトン型蒸発量推定式

$$f(u) = 0.26 (1 + 0.54 u)$$

u : 上高2mでの日平均風速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

e_{sa} : 気温 t における飽和水蒸気圧 (mbar)

$$e_{sa} = 06.1078 \exp \left(\frac{17.2694 t}{t + 237.3} \right)$$

e_a : 空気の水蒸気圧 (mbar)

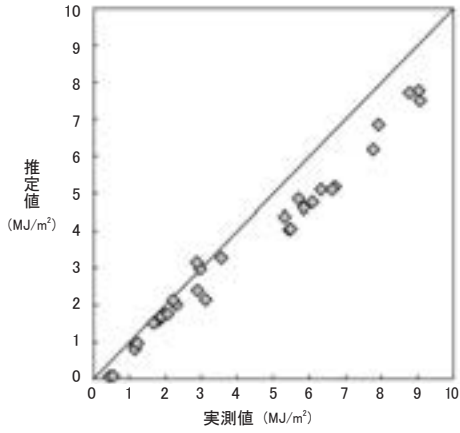


図-6. 純放射量の推定値と実測値 (1月)

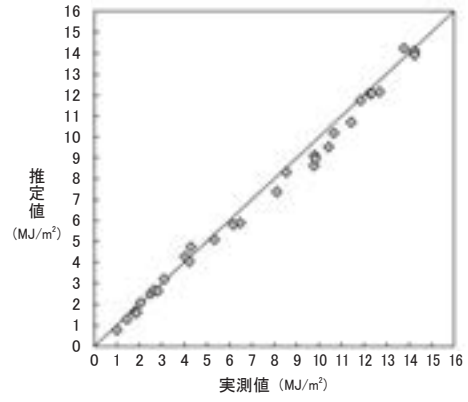


図-10. 純放射量の推定値と実測値 (5月)

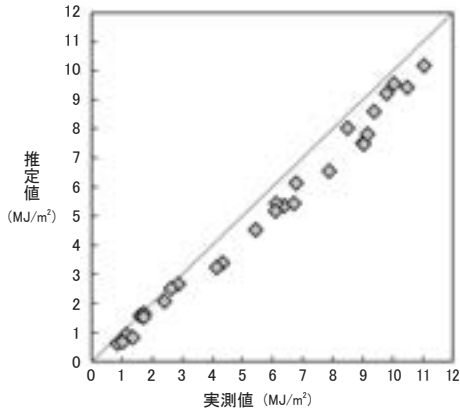


図-7. 純放射量の推定値と実測値 (2月)

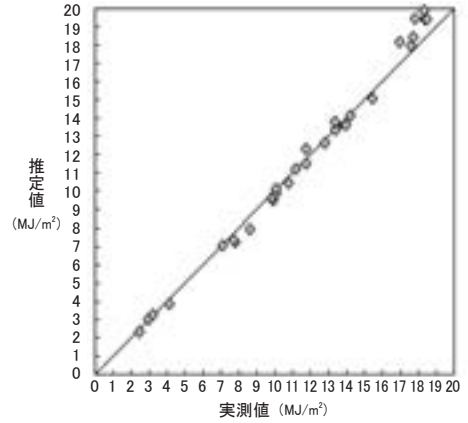


図-11. 純放射量の推定値と実測値 (6月)

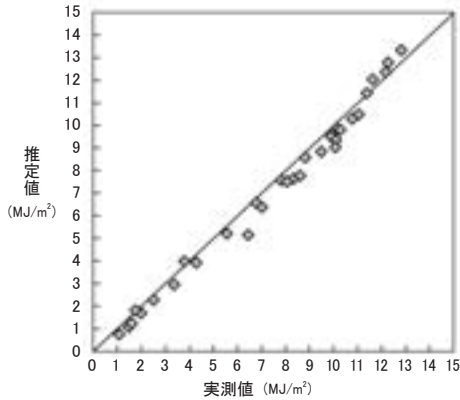


図-8. 純放射量の推定値と実測値 (3月)

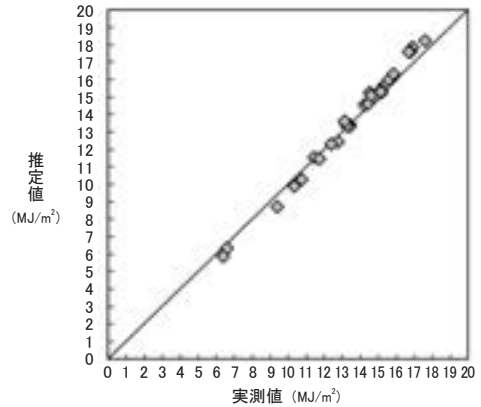


図-12. 純放射量の推定値と実測値 (7月)

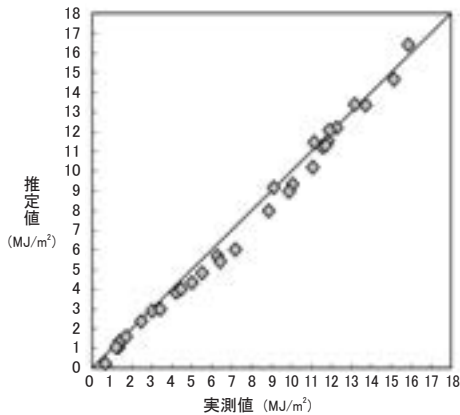


図-9. 純放射量の推定値と実測値 (4月)

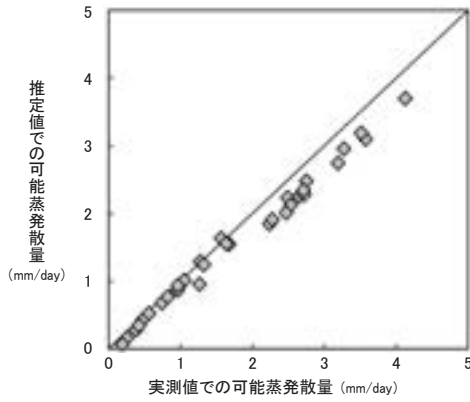


図-13. 純放射量の推定値と実測値を用いた可能蒸発散量の比較 (1月)

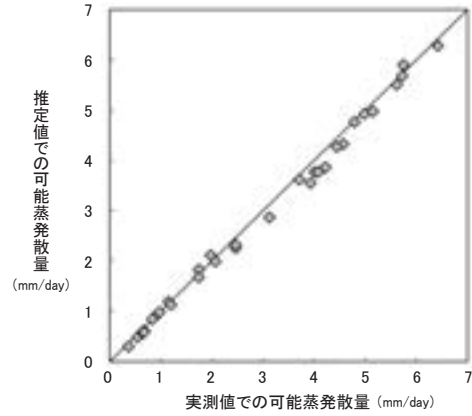


図-17. 純放射量の推定値と実測値を用いた可能蒸発散量の比較 (5月)

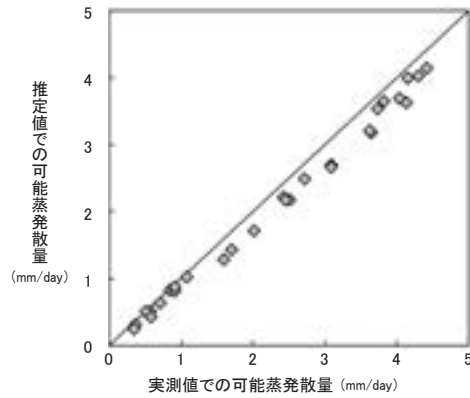


図-14. 純放射量の推定値と実測値を用いた可能蒸発散量の比較 (2月)

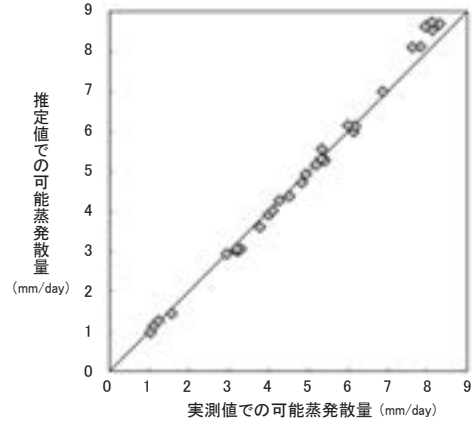


図-18. 純放射量の推定値と実測値を用いた可能蒸発散量の比較 (6月)

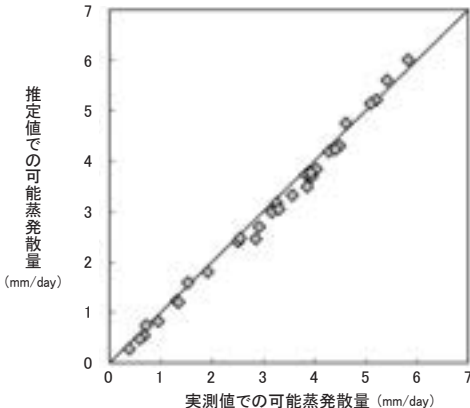


図-15. 純放射量の推定値と実測値を用いた可能蒸発散量の比較 (3月)

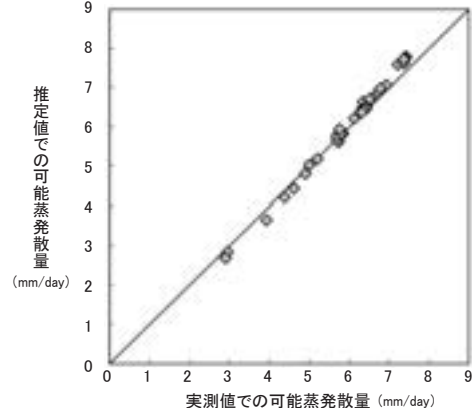


図-19. 純放射量の推定値と実測値を用いた可能蒸発散量の比較 (7月)

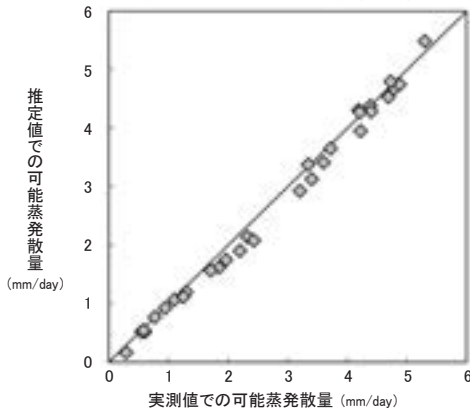


図-16. 純放射量の推定値と実測値を用いた可能蒸発散量の比較 (4月)

$$e_a = e_{sa}RH/100$$

t : 気温 (°C)

RH : 相対湿度 (%)

α : 地表面のアルベド

σ : ステファンボルツマン定数

$$= 4.9 \times 10^{-9} \text{ (MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$$

n : 日照時間

N : 可照時間

新垣ほか (2013) では、純放射量 S について、2010 年度の気象観測露場のシステムの中に純放射量および日照時間を測定する測器が設置されていないため、下記の方法で純放射量を推定した。

(2) 式の第 1 項は短波放射に関わる項目なので (3) 式のように修正し、全天日射計による観測値とアルベド (0.2) を用いて算出した。

$$S = (1 - \alpha) \cdot Rad - \sigma (t + 273.2)^4 (0.56 - 0.083 \sqrt{e_a}) (0.1 + 0.9n/N) \dots (3)$$

Rad : 全天日射量 (Wm^{-2})

n (日照時間) を求めるために直達日射量が必要であるが、直達日射量を観測する機器は設置されていない。そこで、紙井ほか (2001) から沖縄県那覇市の全天日射量率と直達日射量率の関係により直達日射量を求めた。紙井ほか (2001) によると、沖縄県那覇市の全天日射量率と直達日射量の平均値は 0.41 と 0.18 であるので、比率 0.4390 (= 0.18 / 0.41) を全天日射量に乗ずることで直達日射量を得た。得られた直達日射量から閾値 $120 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上の値を積算し、日照時間 n および可照時間 N を求めた。

4 推定式と実測値による純放射量の精度比較

2013 年 1 月から 7 月の観測データを用いて、(3) 式の推定式を用いて求められた純放射量と実測の値とを比較し、その精度について検証した。加えて、推定式と実測により求めた純放射量を用いて可能蒸発散量を計算し、その精度を比較した。

Ⅲ. 結果と考察

検証に使用した 2013 年 1 月から 7 月における各気象要素の月毎の日平均値を図 - 2 から図 - 5 に示した。これらから、2013 年 1 月から 7 月にかけて、平均気温について、最も高い月は 7 月の 26.5°C 、最も低い月は 1 月の 13.4°C であった。平均風速については年間を通して 1.2m/s から 1.6m/s 吹いており、2 月から 3 月で高くなる傾向がみられた。また、全天日射量については 7 月が最も高く、1 月、2 月の冬季に低くなる傾向が見られ、加え

て、5 月にも日射量が減少した。沖縄県は 5 月に梅雨の季節を迎えるため、日射量が減少したと考えられる。平均日照時間についても同様に 6 月から 7 月にかけて長くなり、最大月は 7 月の 8.2 時間、最小月は 1 月の 2.7 時間となり、時間の差は 5.5 時間程度などの傾向が得られた。この期間の気象条件の変動傾向は、新垣ほか (2013) の 2010 年度の 1 月から 7 月の変動傾向と一致している。

推定式によって求められた純放射量の精度について、実測値との値の差を各月ごとに図 - 6 から図 - 12 に示した。各月ともに、推定値と実測値の適合度が高かった。しかしながら、1 月、2 月の冬季においては推定値が実測値よりも値が低くなる傾向が見られた。これは冬季において、気温が低く、放射量が減るため、推定値が過小に算出されたと考えられるが、精度としては大きな誤差は出ていない。加えて、温度、日射量が高くなる春季、夏季は推定値の精度がより高まると考えられる。

ペンマンの可能蒸発散量について、推定式によって求められた純放射量の推定値を用いて計算した可能蒸発散量と実測値を用いて計算した可能蒸発散量の値を比較した結果を、図 - 13 から図 - 19 に示す。ペンマンの可能蒸発散量の計算において、推定値、実測値のどちらの値を用いた場合でも、各月ともに計算値の値に大きな違いは現れず、適合度は高いと考えられた。また、純放射量の値において、推定値がほかの月に比べて過小に算出されてしまう 1 月、2 月においても、ペンマンの可能蒸発散量を算出した値に大きな違いは見られなかった。ペンマンの計算項目にはエネルギーに関わる項目の他に、風速、温度、湿度に関わる項目があり、純放射量の要素による影響はあるものの、各項目を総合的に計算することで高精度な推定が可能であると考えられる。

以上の結果から、新垣ほか (2013) で使用した純放射量推定モデルによるペンマンの可能蒸発散量の算出方法は精度が高く、これにより、純放射量の観測項目が足りない場合でも、一般的な露場観測要素からペンマン式を活用した可能蒸発散量の推定が可能であることが示唆された。

引用文献

- 新垣拓也ほか (2013) 九州森林研究 66 : 21 - 24.
 服部重昭 (1985) 林試研報 332 : 139 - 165.
 比嘉幹彦ほか (2011) 九州森林研究 64 : 102 - 104.
 紙井泰典ほか (2001) 高知大研究報 56 : 81 - 94.
 三浦健志・奥野林太郎 (1993) 農土論集 164 : 157 - 163.
 清水貴範ほか (2011) 九州森林研究 64 : 108 - 109.
 (2013 年 11 月 5 日受付 ; 2014 年 2 月 20 日受理)