

教室で行う宇宙の実験－10：全天ライブ映像を用いた 太陽の日周運動の観察教材の開発

*高田 淑子・**齋藤弘一郎・***門脇 駿・****桑原 永介

*****相田 知輝・*****宮地 竹史・*****千島 拓朗

Space experiments in classrooms-10: Development of teaching materials
of solar diurnal motions taken by the whole sky cameras

TAKATA Toshiko, SAITO Koichiro, KADOWAKI Shun, KUWABARA Eisuke,
AIDA Tomoki, MIYAJI Takeshi and CHISHIMA Takuro

Abstract

初等教育の天文分野で最初に学習する内容が太陽の天球上の動きである。学習指導要領には、天文分野の各項目に「観察すること」と明記され、太陽の通り道を朝から夜まで定時観測することが求められるが、実際の教育現場では現実的ではない。そこで、魚眼レンズを付けたネットワークカメラで全天を撮像し、インターネットを介し、天球上の太陽の動きの観察や映像化が可能な全天ライブシステムを導入し、仙台、石垣島、ロンドンの3地点に設置した。これにより、各季節、各緯度（地域）の太陽の日周運動の映像・合成画像データセットを製作し、映像の観察と透明半球への太陽の通り道の立体復元により、太陽の通り道の季節や緯度（地域）による違いが地球の自転と公転に起因することを理解できる教材を開発した。さらに本教材を用いた実践授業を行い教材の利用方法を評価した。

Key words : Astronomy Education (天文教育)
Information education (情報教育)
Science education (科学教育)
Starry observation (星観察)

はじめに

初等教育の天文分野で最初に学習する内容が太陽の天球上の動きである。小学校で天動說的視点で捉えた

太陽の動きを学習し、中学校で地動說的視点に変化し地球の自転と公転の理解へと深化させる（文部科学省、1998）。旧指導要領と新指導要領で学習進度に違いがあるものの、小中学校を通して、①太陽は、東の

* 宮城教育大学教育学部
** 大崎市立東古川中学校
*** 仙台市立吉成中学校
**** 五藤光学研究所
***** 東京都立墨田工業高校
***** 国立天文台
***** 気仙沼市立松岩中学校

方角からのぼり西の方角に沈むこと、②太陽の通り道は、季節によって異なること、さらに③太陽の通り道は地域によっても異なることを学習する。並行して、星の日周運動や年周運動を学習し、地球の自転と公転が天体の天球上のみかけの運動の理由であることも学ぶ。天動説から地動説への‘視点の変換’、言うなれば、‘座標変換’を求められる非常に高度な内容である。この‘座標変換’の理解が困難であることから、中学校の指導要領では、学習時期を1年生から3年生に移した経緯もある（文部科学省、1998）。

学習指導要領では、天文分野の各項目に「観察すること」と明記されているが、太陽の通り道を観察しようとするれば、朝から夜までの定時観測を各季節ごとに行うことが求められる。しかし、実際の教育現場で、これらを実施するのは現実的ではない。

そこで、太陽の通り道を撮像してインターネットを介して観察したり、映像として保存できる、全天ライブシステムを導入した（齋藤2008、齋藤、高田2008）。太陽の通り道の観測は天候に左右され、毎日観測可能とは限らない。しかし、常時観察することで教材として活用可能なデータの抽出が可能となる。全天ライブシステムで取得された映像の中から天候のよい1日の太陽の通り道を短時間に短縮した映像を用いれば、太陽の動きの学習が広がる。さらに、全天ライブカメラを異なる地域に設置することにより、季節や観察場所（緯度）による太陽の通り道の違いを理解することも可能となる。

全天ライブシステム

初代全天カメラは、魚眼コンバータレンズ（フィット社、魚露目8号）を付けたデジタルカメラ（PENTAX社、Optio）を天頂に向けたもので、インターバル撮像により、天球上の太陽の位置とその変化を観察した（千島2007、高田他2005）。この方式の全天カメラは、良好な解像度（400万画素）を得られる反面、定点観測の度に人が介在する必要があった。そこで、次世代全天カメラは、撮像部をネットワークカメラ（コレガ社、CG-NCMN2）に変更した（齋藤2008、門脇2010、図1）。撮像画像はインターネットを介して定期的に画像蓄積サーバーに送信され、画像蓄積サーバーでは、1日分の画像を合成して自動的に1日の太陽の動



図1 (a)全天ライブカメラ。宮城大屋上に設置。(b)ハウジング内の様子。魚眼コンバータレンズがついたネットワークカメラを天頂に向け設置している。



図2 全天ライブカメラシステム。ロンドン（ロンドン大学天文台、北緯51°）、仙台（宮城教育大学、北緯38°）、石垣島（国立天文台VERA石垣島観測所、北緯24°）に設置。

きを短縮して映像化し、ホームページ上で公開可能とした。

このネットワークカメラは、http、ftpによる画像配信機能があり、ホームページから常時全天モニタリングも可能である。これにより天候を気にすることな

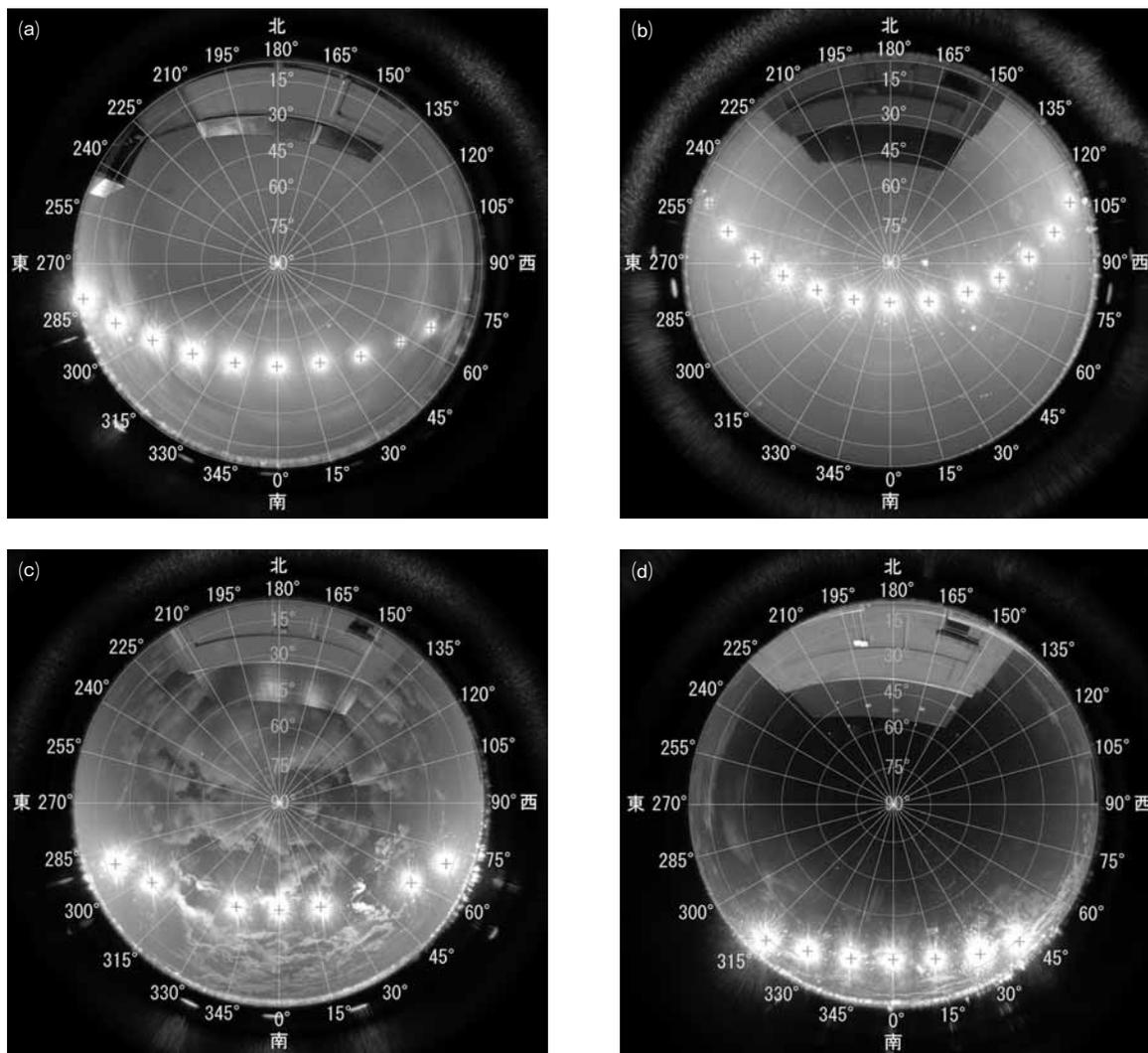


図3 宮城教育大学（仙台市）、緯度38° 経度140°における太陽の通り道の四季による違い。1時間単位で撮像した画像を合成し、1日の太陽の通り道を1枚の画像で示した。目盛は、方位、高度を表す。(a)春3月15日、(b)夏6月21日、(c)秋9月29日、(d)冬12月20日。(c)の秋の9時30分と13時30分の2回分の太陽は雲に隠れて観察されていない。

く、常時遠隔データの取得が容易になった。

現在、全天ライブカメラは、仙台（宮城教育大学、北緯38° 東経140°）、ロンドン（ロンドン大学天文台 北緯51° 東経0°）、石垣島（国立天文台 VERA 石垣島観測所、北緯24° 東経124°）の3地点に設置している（図2）。この3地点は北半球上で、北回帰線上の石垣島、中緯度地域の仙台、北極圏に近いロンドンという特徴をもつ地域である。仙台と石垣島は、経度が約15°異なり、石垣島の方が日の出・日の入りが、約1時間遅い。また、ロンドンは世界標準時の基準である本初子午線上で、9時間の時差がある日本とは、昼夜が逆転する。

このような地理環境下、3地点の四季の太陽の動きの映像データセットが取得できた。

太陽の通り道の映像・合成画像のデータセット

授業で教材として利用するためには、これらの観察システムで得られた映像をコンパクトに集積し公開することが求められる。また、正射投影された平面上の全天映像から、天球上の太陽の動きを頭の中で立体的な運動へ変換するのは小中学生にとっては容易ではない。さらに、映像は高度方位を読み取る等の数量的判断には不向きである。そこで、1時間単位で撮像された全天映像を重ね合わせて合成し、1日の太陽の通り道を1枚の画像で示せる合成画像を作成した。これらの映像と合成画像を用いて、季節と緯度という2つの着眼点から3つの比較用映像／画像データセットを製作した。

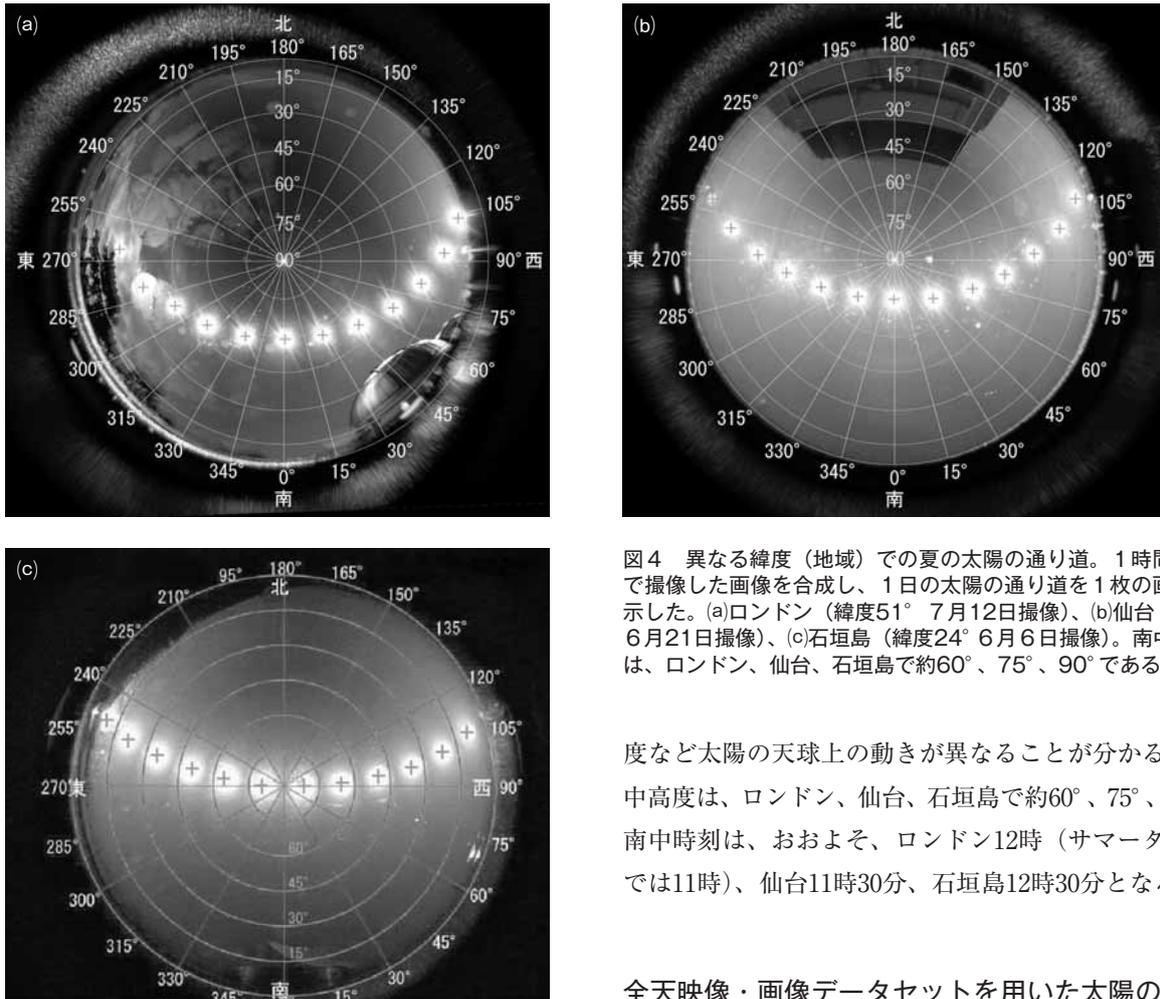


図4 異なる緯度(地域)での夏の太陽の通り道。1時間単位で撮像した画像を合成し、1日の太陽の通り道を1枚の画像で示した。(a)ロンドン(緯度51° 7月12日撮像)、(b)仙台(38° 6月21日撮像)、(c)石垣島(緯度24° 6月6日撮像)。南中高度は、ロンドン、仙台、石垣島で約60°、75°、90°である。

度など太陽の天球上の動きが異なることが分かる。南中高度は、ロンドン、仙台、石垣島で約60°、75°、90°、南中時刻は、おおよそ、ロンドン12時(サマータイムでは11時)、仙台11時30分、石垣島12時30分となる。

全天映像・画像データセットを用いた太陽の通り道の実践授業

全天映像や合成写真を用いて、季節と緯度(地域)の違いによる太陽の通り道を比較観察し、地球の自転と公転を理解するための教材を作成し、科学実験教室「スペースラボ in 仙台市天文台」で2009年9月23日秋分の日に関東市天文台で小学生対象に実践授業を行った。授業の流れは以下の通りである。

(1) 太陽の動きの屋外観察の方法の解説

仙台市天文台では、夏至、秋分、冬至、春分に太陽の通り道を観察・記録するために、屋外に棒を立てて、1時間ごとに棒先の陰を記録し地面に印を残している。まず、実際の太陽の通り道の観察方法を理解するために、屋外で陰の記録の軌跡をたどり、季節により陰の軌跡が異なることを確認する。さらに、透明半球を用いた太陽の位置の測定方法について説明する。晴天時には、それぞれの方法で太陽の位置を測定し、観察方法を習得することを盛り込む。

- [1] 同一地点で季節の違う太陽の通り道：仙台の春・夏・秋・冬(図3)
- [2] 同一季節で異なる緯度(地域)の太陽の通り道－その1：仙台・石垣島・ロンドンの夏(図4)
- [3] 同一季節で異なる緯度(地域)の太陽の通り道－その2：仙台・石垣島・ロンドンの冬

[1] 季節の違いでは、宮城教育大学(仙台市、緯度38° 経度140°)における春(3月15日)・夏(6月21日)・秋(9月29日)・冬(12月20日)の各季節の太陽の通り道を示した合成画像を用いている(図3)。太陽の南中高度、日の出、日の入りの方角、日照時間の季節変化は合成写真からも読み取れる。

緯度(地域)の違いの比較画像例として、図4に、[2]の各地域の夏の太陽の通り道を示す。ロンドン(緯度51° 7月12日撮像)、仙台(38° 6月21日撮像)、石垣島(緯度24° 6月6日撮像)の3地域である。30°弱の緯度の違いでも日の出日の入の方角、南中高

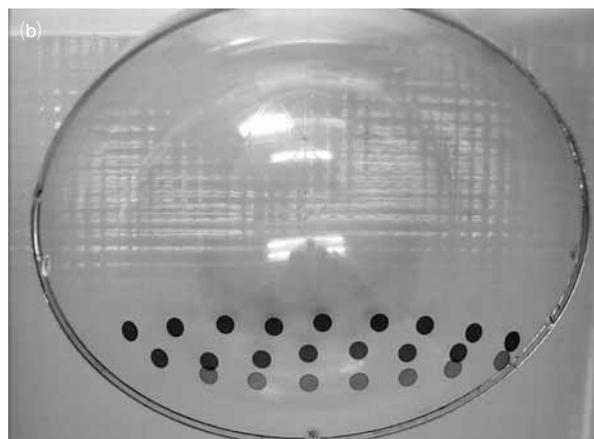


図5 図3・4の合成画像から太陽の通り道を読み取る。(a)1日の太陽の通り道を表す合成写真から太陽の位置を読み取り、方位高度線付透明半球（ヤガミ社）を用いて太陽の位置に内側からシールを貼る。(b)透明半球の内側から見た冬の太陽の通り道の違い。下からロンドン、仙台、石垣島。(c)①仙台の四季、②仙台・石垣島・ロンドンの夏、③仙台・石垣島・ロンドンの冬の太陽の通り道を印つけた透明半球をそれぞれ外側から眺めて比較観察する。季節や場所（緯度）の違いによる太陽の通り道の違いを理解する。

陽の位置にシールを半球の内側から貼り（図5）、太陽の通り道を再現させる。

(2) 全天カメラと全天映像と合成画像の紹介

屋内で、全天カメラを生徒に紹介する。特に、全天カメラの原理を理解するために、魚眼レンズを各自に覗かせて視野が180° 広がることを確認する。その後、全天映像を紹介する。特に全天映像の方位・高度など、全天の見方を指導する。太陽の出ている時間、日の出・日の入りの方位、南中高度に着目させ、3つのデータセット映像（[1] 同一地点で季節の違う太陽の通り道：仙台の春・夏・秋・冬、[2] 同一季節で異なる緯度（地域）の太陽の通り道—その1：仙台・石垣島・ロンドンの夏、[3] 同一季節で異なる緯度（地域）の太陽の通り道—その2：仙台・石垣島・ロンドンの冬）について、プロジェクターで投影し、比較しながら観察させる。

(3) 透明半球を用いた太陽の通り道の立体再現

次に、各生徒に上記3つの合成画像集のうちの1セットを担当させ、太陽の1時間ごとの方位と高度を読み取り、方位高度線付透明半球（ヤガミ社）上の太

(4) 太陽の通り道の違いを確認

ワークシートには、特に以下の点に着眼させて記入させる。[1] 季節による違いは、①太陽の南中高度（夏が高く、冬が低い）、②日照時間（夏が長く冬は短い）、③日の出・日の入りの方位（春秋は東西、夏は北寄り、冬は南寄り）を確認する。さらに、④春と秋の通り道はほぼ同じことも見出させる。また、[2]、[3] の異なる緯度の比較では、①太陽の南中高度の違い（ロンドン（高緯度）が低く、石垣島（低緯度）が高い）を確認させる。日の出日の入りの方位については、高度10° 以下ではカメラ・レンズの性能の問題で高度誤差が大きく、観察しづらい点が難点である。

(5) 太陽の通り道が異なる理由を展示解説

太陽の通り道が季節や緯度（地域）によって異なる理由を、地球が地軸を傾けたまま太陽を公転するモデル実験器を用いながら説明する（図6）。小型透明半球の中心にモデル人形を置いた疑似透明半球を制作し、これらを地球儀の仙台の位置に吸盤で付け、太陽光の地面への当たり方を視覚化し、地球が太陽を公転するとともに南中高度が変化することをモデル実験で

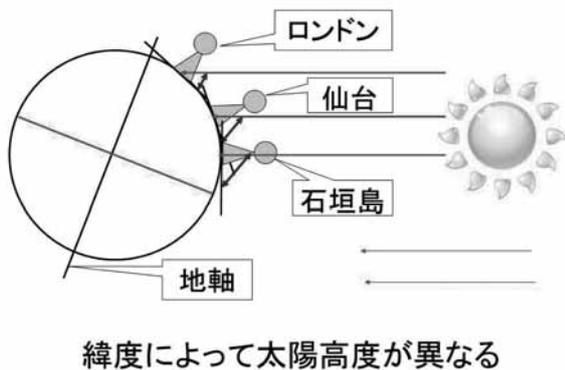


図6 太陽を公転する地球のモデル実験器を用いて、場所（緯度）や季節によって太陽の光の差し方、太陽の天球上の動きが変わることを確認する。地軸の傾きが季節による太陽の動きを変化させ、緯度によって太陽の入射角が異なることを立体的に理解する。

示した。さらに、地球儀上の石垣島、ロンドンの観測地点にも疑似透明半球を設置し、同じ季節でも3地域の南中高度が変化することを確認、太陽の通り道の変化は、地球が地軸を傾けて、太陽を公転することにより起こる現象であるということを理解させた。

(6) 参加者評価

参加生徒のアンケート（回答7名）によると、印象に残った内容は、透明半球へのシール張り（4名）、太陽の動きの動画（3名）、実験（1名）、カメラ（1名）、太陽の通り道の理解（2名）という回答（複数回答可）が得られた。学校の授業では、教科書の絵、あるいは、合成写真で2次元的に示されることが多いが、動画は、現代の子供たちに理解されやすい。

説明の理解度は、高学年は簡単、やや簡単、低学年は、難しい、やや難しいという回答が得られ、小学校高学年で学習する、天文分野の単元で本教材を用いることは十分可能であると考えられる。

また、中学校2年生の「雲量測定」で昼間の全天写真は教科書に掲載されていることから、中学3年生の天文分野での学習では平易になると思われる。今回悪天候のため、屋外による観察は省略せねばならず、実際の太陽の高度方位の観察を体験できなかったのが残念である一方、天候に左右されずに授業が行える利点が明らかになった。

まとめ

今や、無償映像配信サイトやインターネットTVの



教育利用も普及しており、時々刻々と変化する現象を実映像として提供できる環境は整っている。カラーの教科書世代には、カラーの実際の映像を観察することが理解度を高める手段となり得る。今回は、北緯24度から51度までの地域のデータであるが、より広い地域のデータが収集されれば教材としての完成度があがるであろう。

アクセスしやすい簡易化した映像データベースの構築により、天球上の太陽の通り道以外の長期間観察が必要となる事象も映像として提供することが可能になる。4次元での理解を要求される天文分野の天体の運動は、観察が不可能な場合、実際の映像を用いることで時空を超えることが可能である。

これらのすべてのライブ映像は「星空観察ネットの広場」と称するホームページ (<http://www.hosizora.miyakyo-u.ac.jp/>) でアクセス可能である。

現在、学習指導要領では現実には観察が困難であっても、天体観察の実施を促しているが、今後、これらの学習対象・方法の見直しも含めて星の観察授業に対する方策も検討を要するであろう。

引用文献

- 齋藤弘一郎, 2009, 地学分野の定点観測教材の開発と実践、宮城教育大学修士論文。
 齋藤弘一郎・高田淑子, 2008, 全天ライブシステムの構築とその活用, 宮城教育大学情報処理センター年報, 15, E1-5。
 高田淑子, 千島拓朗, 齊藤正晴, 伊藤芳春, 野田貴洋, 高橋

教室で行う宇宙の実験－10：全天ライブ映像を用いた太陽の日周運動の観察教材の開発

知美、黒木充、市川仁、Mike M. Dworetsky、Ian A. Crawford, 2005, 教室で行う宇宙の実験－7：全天カメラを用いた太陽の日周運動の映像教材の開発, 宮城教育大学紀要, 40, 101-106.

千島拓朗, 2007, IT機器を利用した天文教育プログラム開発, 宮城教育大学修士論文.

文部科学省, 1998, 小学校学習指導要領, 文部省告示第175号.

文部科学省, 1998, 中学校学習指導要領, 文部省告示第176号.

(平成22年9月30日受理)