

機関番号：53601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20540239

研究課題名(和文) 多胡事象(近傍星の重力マイクロレンズ現象)と銀河系構造

研究課題名(英文) TAGO Event(Near-Field Microlensing) and Structure of the Galaxy

研究代表者

大西 浩次(OHNISHI KOUJI)

長野工業高等専門学校・一般科・教授

研究者番号：20290744

研究成果の概要(和文)：

多胡事象とは、近傍の星で確認された初めての重力マイクロレンズ現象である。標準的な銀河系構造で、このような現象が起きる確率は非常に小さい。しかし、「質量分布関数の低質量側が、標準モデルより大きい」と考えると、この現象が説明出来る可能性がある。実際、MOAグループによる重力マイクロレンズの探査による、近傍の褐色矮星によるレンズ現象の発見や「浮遊惑星」の発見などから、低質量側の質量分布関数が、標準モデルの2倍程度になる事が判った。これらより、多胡天体の正体は褐色矮星や浮遊惑星であると考えられる。これらは、近い将来、固有運動の測定によって明らかにされるであろう。

研究成果の概要(英文)：

The "TAGO event" is the first microlensing phenomenon confirmed in the near-field star. In a standard structure of the Galaxy, the probability that this phenomenon occurs is very small. However, it might be explained this phenomenon by thinking; "The low mass side of the mass distribution function is larger than that of a standard model." From the microlensing observation by MOA group, we found that the value of the mass distribution function on the low mass side is twice larger than that of a standard model by discovering the microlensing due to neighborhood brown dwarf and by discovering the "floating planet". These suggest that the TAGO Object is a brown dwarf and/or a floating planet. These will be clarified by the measurement of the proper motion in the near future.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：重力レンズ天文学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：重力マイクロレンズ現象、多胡事象、多胡天体、褐色惑星、質量分布関数、あかり、MOA、浮遊惑星

1. 研究開始当初の背景

(1) 重力マイクロレンズ現象とは、重力レンズ天体によって背景の星が増光する現象である。この現象を使って銀河系内に含まれている「光を発していない暗い星」の研究が可能である。しかし、この現象の確率は、銀河系中心方向の星でも 100 万分の 1 のオーダーであり、近傍の星ではさらに小さくなる。このため、本研究者の所属する MOA (Microlensing Observations in Astrophysics)グループは、探査専用の望遠鏡を作り、銀河系中心方向を 1 時間あたり 1000 万個の割合で星をモニターして、銀河系中心方向に年間約 500 個の重力マイクロレンズ現象を発見し、これらより銀河系構造の研究や太陽系外惑星を発見している。

このような状況下で、最近、興味深い重力マイクロレンズ現象が、次々発見されている。そのひとつが、アマチュア天文家により偶然発見された明るい変光天体である。

(2) 多胡事象 (TAGO Event) とは、2006 年 10 月 31 日に、岡山県在住のアマチュア天文家、多胡昭彦氏によって発見されたカシオペア座の変光天体 Var Cas 06 (GSC03656-01328) の重力マイクロレンズ現象の事である。はじめ、新星として報告された増光した天体は、光度 11.4 等星の A 型主系列星、距離は約 1 kpc であり、発見直後より国内各地の天文台で分光モニターが行われたが、有意なスペクトルの変化がみられなかった。本研究者 (大西浩次) は、マイクロレンズ現象の可能性を考え、国内外の観測者に増光ピーク前後の画像提供を呼びかけ、Var Cas 06 の変光曲線を求めた (大西 2006, 2007)。これらをシングル・重力マイクロレンズモデルでフィットし、この増光現象が、近傍の星の重力マイクロレンズ現象である (=TAGO 事象) ことを明らかにした (Fukui et al. 2007)。

(3) 標準的な銀河モデル、および質量分布関数を仮定すると、カシオペア座方向の星 (距離 1kpc) の Optical depth はオーダーとして 10^{-8} 以下 (Nemiroff 1998)、さらに 4.5 等星増光する確率は、 10^{-12} 程度である。ちなみに、全天の 12 等星より明るい星は約 400 万個である。一方、Event Rate は第 1 近似としてレンズの時間スケールを 8 日とすれば、Event Rate はオーダーとして $10^{-9}/\text{yr}$ である。これより、この TAGO 天体が普通の星だとすれば、TAGO 事象は数千年に 1 度という極めて稀な現象となる。

(4) Gaudi (2007) たちは、増光の前後で近赤外線 (JHK) での測光観測を行い、TAGO 天体からの $K=13\text{mag}$ 程度の赤外線超過が観測できた

と可能性があると言う。もし、このことが本当であれば、TAGO 天体は Late type M 矮星であり、その質量は 0.1 太陽質量以下、距離は 100pc 程度、固有運動は 100mas/yr 程度と求まる。ただし、増光した星は A 型星であり周辺ダストによる赤外線放射の可能性もある。すなわち、これらを確認するには、すばるクラスの望遠鏡での分光観測、および、固有運動測定 (高分解能位置観測) が必要である。

(5) MACHO グループによって大マゼラン銀河 (LMC) 方向に発見されたマイクロレンズ事象のうち、10 年を経て Hubble Space Telescope (HST) によってレンズ天体と背景天体との分離が出来た MACHO-LMC5、MACHO-LMC20 の 2 つの事象のレンズ天体はいずれもディスク内の M 矮星であった (Alcock et al. 2001, Kallivalil et al. 2006)。このことは、銀河系ディスク面内に標準モデルより、多くの矮星がある可能性を示唆している。

(6) 作業仮説として星の質量分布関数が標準的な銀河系モデルより低質量側に伸びていると仮定すれば、TAGO 事象のような近傍の星による重力マイクロレンズ現象が起きる確率が標準モデルより高くなり、そのため「TAGO 事象が観測できた」と解釈できる可能性を考えた。

2. 研究の目的

(1) 実際に TAGO 事象を起こしたレンズ天体 (以下、TAGO 天体とよぶ) の正体を確かめる。

(2) 銀河系標準モデルでの近傍の星によるマイクロレンズ確率分布を再度検討し、現在の銀河系回転などの観測事実と無矛盾で、TAGO 事象を説明できるほど出現確率が上がるか検討する。

3. 研究の方法

(1) TAGO 事象の観測や大マゼラン銀河でのマイクロレンズ現象のレンズ天体の特定などを総合すると、TAGO 天体は低質量星 (矮星) である可能性が高い。さらに、TAGO 事象は標準モデルでは、確率的に起こりえない現象である。この 2 点を解決するアイデアとして、「星の質量分布関数が標準モデルより低質量側に伸びているので、Event Rate が高い。そのため、近傍の星の重力マイクロレンズ現象 (TAGO 事象) が観測できた」と考える事ができる。実際、MACHO プロジェクトで発見された大マゼラン銀河で起きたマイクロレンズ現象の 2 例が、HST によってレンズ天体の固有運動が測定されている (Alcock et al.

2001, Kallivalil et al. 2006)。その結果では、レンズ天体がいずれも銀河ハローにあるのではなく、近傍の銀河面上の低質量 (M dwarf) の天体であった。ここで、TAGO 天体の正体を確かめるため、分光、あるいは、アストロメトリックによる追観測が必要である。もし、これらの観測から、TAGO 天体が近傍銀河面上の低質量星であると確認できれば、我々は、銀河系内に新しい種族の天体があるという認識を得る事ができるだろう。

TAGO 事象を正しく理解するには、レンズ天体 (=TAGO 天体) の正体を明らかにする必要がある。しかし、マイクロレンズ現象の観測のみでは質量・距離・相対速度が縮退しているため、この観測量だけではレンズ天体の質量を決定することはできない。そこで、次の様な追加観測が必要である。

①赤外線領域では、矮星からの放射が、背景天体に埋もれず、検出可能になる。そこで、「あかり」等の赤外線観測衛星のアーカイブデータから、中間・遠赤外線での赤外線超過の有無を確認する。

②赤外領域の分光観測を行うことで、背景の A 型星と分離して、分子線を検出したい。そのために、大型光学赤外線望遠鏡による分光観測を検討する。

③TAGO 天体と背景星の離角が離れた時期に離角を計測して、固有運動を決まる事ができる。マイクロレンズのパラメータとあわせて質量が決定できる。マイクロレンズのフィットによる固有運動の下限は 24mas/yr である。さらに Gaudi et al. (2008) による赤外線超過が正しいとすれば、TAGO 天体は $K_{mag}=13mag$ 、固有運動は 100mas/yr 以上である。これより、すばる望遠鏡の A0 と近赤外分光撮像装置 IRCS で近い将来分離可能になる。

(2) 近傍星のマイクロレンズ現象の Optical Depth (=確率) と Event Rate (=1 年あたりの個数) を銀河系モデルに即して詳しく求める。ここでは、銀河の腕構造などローカルな情報を考慮すると共に、レンズ天体の質量分布を標準モデルの低質量側を変えた時の、Event Rate の変化を検討する。

4. 研究成果

(1) Gaudi たち (2008) は、増光の直後の近赤外線 (JHK) 測光観測より、増光した背景天体 (A0V 型星) から赤外超過が見えたようだと指摘している。そこで、増光天体と多胡天体のスペクトルを分離するために、2008 年 7 月 22 日から 23 日にかけて、日本の赤外線観測衛星「あかり」の NIR camera で、TAGO 天体の背景星 GSC0356-01328 の近赤外線分光観測

を実施した (大西 2008)。観測時点で、すでに「あかり」のヘリウム冷却以降の観測であったため、近赤外線によるグリズム分光のみを行った。残念ながら対象の天体 GSC03656-01328 は、「あかり」の限界等級に近く、背景星から顕著な赤外放射を分離することは出来なかった。また、低 S/N データであったため、有意な赤外放射の上限値を得ることも出来なかった。そのため、残念ながら、「あかり」での観測の結果は論文化されていない。

(2) マイクロレンズ現象の観測からは、増光量と継続時間の 2 つしか決まらない。そのため、マイクロレンズを特徴付ける質量・距離・相対速度の縮退が解けず、レンズ天体の質量が決定できない。すなわち、マイクロレンズ・フィットだけでレンズ天体の正体は決まらない。しかし、TAGO 事象では、増光量が大きい (衝突パラメータが小さい) にも関わらず背景星の有限サイズ効果が見えないことなどより、TAGO 天体の質量下限 (0.01 太陽質量) と固有運動の下限 (24mas/yr) が決まった。さらに、ここで、TAGO 天体の固有運動を 30km/s と仮定すれば、TAGO 天体の質量が 0.1 太陽質量程度となることが判った。

(3) 重力マイクロレンズ観測グループ MOA はマイクロレンズ現象 MOA-2007-BLG-192 の解析から褐色矮星 (0.06 太陽質量) と惑星から成る最小サイズの惑星系を発見した (Bennett et al. 2008)。この結果は、低質量星が標準的な銀河モデルよりはるかに多数ある可能性を示唆し、多胡事象の確率的な解釈と無矛盾である。

(4) 重力マイクロレンズ観測グループ MOA はマイクロレンズ現象 OGLE-2007-BLG-224 (Gould et al. 2009) の解析から、レンズ天体が近傍の褐色矮星 (0.06 太陽質量) である事を示した。MOA-2007-BLG-192 の褐色矮星と惑星から成る惑星系の発見 (Bennett et al. 2008) と共に、低質量星が標準的な銀河モデルよりはるかに多数ある可能性を示唆しており、多胡事象の確率的な解釈と矛盾していない。

(5) 重力マイクロレンズ観測グループ MOA では、マイクロレンズ現象による系外惑星探査において、系外太陽系内の惑星分布の研究 (Gould et al 2010) と共に、MOAII 望遠鏡による高時間頻度連続観測の観測から、TAGO 天体の正体を示唆する新しい種族の天体「浮遊惑星」を発見した (Sumi et al 2011)。2006 年から 2007 年の 2 年間のデータで、継続時間が 2 日以下のマイクロレンズ現象を 10 例発見した。これらは、木星質量程度の浮遊惑

星（主星に束縛されていない惑星質量の天体）によるマイクロレンズ現象と考えられる。また、この新しい種族の天体によって、低質量側の質量分布関数の値が、これまでの標準モデルの2倍程度に成る事が判った。これらより、多胡天体が、褐色矮星や浮遊惑星である可能性が示唆される。

(6) TAGO 天体と背景星の固有運動を求める検討を行った。マイクロレンズのフィットによる固有運動の下限は 24mas/yr である。さらに Gaudi et al. (2008)による赤外線超過が正しいとすれば、TAGO 天体は $K_{mag}=13mag$, 固有運動は 100mas/yr 以上である。ただし、現状では赤外線超過の真偽が確かめる事が出来ず、確実な固有運動を検出するには、まだ、数年先の観測になると考えられる。現在、すばる望遠鏡での観測プロポーザルを検討中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

①Bennett, D. P.; Bond, I. A.; Udalski, Ohnishi, K. (22 番) ほか、計 47 名
A Low-Mass Planet with a Possible Sub-Stellar-Mass Host in Microlensing Event MOA-2007-BLG-192
The Astrophysical Journal 査読有り 684 (2008) pp. 663-683

②Gould, A.; Udalski, A.; Monard, B
Ohnishi, K. (52 番) 計 72 名
The Extreme Microlensing Event OGLE-2007-BLG-224: Terrestrial Parallax Observation of a Thick-Disk Brown Dwarf.”
The Astrophysical Journal Letters 査読有り 698 L147-L151 (2009)

③ Sumi, T.; Kamiya, K.; Bennett, D. P
Ohnishi, K. (52 番) ほか 38 人
Unbound or distant planetary mass population detected by gravitational microlensing
Nature 査読有り 473 pp. 349-352 (2011)

④大西浩次、連載：太陽系はどこまでわかった？最終回「遠くから太陽系を眺めて」理科の探検「Rikatan」(文一総合出版) 査読なし
2009 年 4 月号 2、14, pp. 52-55 (2008)

⑤大西浩次：Sense of the Universe 7 銀河系中心の窓から探す系外惑星，理科の探検 (文一総合出版)，査読なし，4，10，pp. 36-37，(2010. 10)

⑥大西浩次：Sense of the Universe 8 (近傍星の重力マイクロレンズ現象)；Tago 天体の謎，理科の探検 (文一総合出版)，査読なし，4，11，pp. 44-45，(2010. 11)，

[学会発表] (計2件)

①大西浩次 Tago Object (多胡天体)の謎を追う，第 19 回西はりま天文台シンポジウム 新天体からのサイエンス 2008 年 9 月 20 日

②大西浩次
銀河系中心方向の重力レンズ現象 日本天文学会 2009 年春季年会，(2009. 3)，A08a

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大西浩次 (OHNISHI KOUJI)

長野工業高等専門学校・一般科・教授

研究者番号：

20290744

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし