

## 特定領域研究 領域代表者からの報告

### 1. 研究領域の目的及び意義

【領域番号】 467

【領域略称名】 ダークエネルギー

【領域代表者（所属）】 唐牛 宏（東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・特任教授）

近年の宇宙論研究、とりわけ観測的宇宙論と呼ばれる分野の研究の進展にはめざましく、その顕著な成果が1998年の「宇宙膨張の加速」の発見であり、また加速させるための斥力としてそこから導き出された未知の存在、ダークエネルギー（Dark Energy）である。これまでも宇宙には目に見えない物質、ダークマター（Dark Matter）が大量に存在していることがわかっていたが、ダークエネルギーはダークマターのエネルギー密度の2倍以上もの真空のエネルギーであることが次第に明らかになってきたのである。

真空のエネルギーとしては素粒子物理学において議論されるスカラー場が宇宙において重要な役割を果たしている可能性が示唆されているが、未だ基本粒子としてのスカラー場を発見するには至っていない。すなわち、ダークエネルギーの解明は天文学、宇宙論、素粒子論にまたがり、さらに広く一般的にも非常に関心の高い21世紀基礎科学における最重要課題となっている。このため現在すでに多くの（主に欧米の）研究者達が、分野を問わず様々な手段に基づく研究プロポーザルを提出し、その実現に向けた熾烈な競争を開始している。その中であって天文学が「直接検出が困難なダークエネルギーの性質を観測によって知る」ということは、重力場方程式における宇宙項( $w$ )の値がいくつであるのか、そしてその値は時間とともに変化しているのか否かを調べることに他ならない。 $w$ の値と時間発展が明らかになれば、ダークエネルギーを作り出しているであろうスカラー場のポテンシャルを構築することが可能になり、その正体に迫ることができる。

本領域研究はこのダークエネルギー研究に、我が国が世界に誇る大口径望遠鏡「すばる」に新たな観測装置、超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を搭載することによって取り組み、世界をリードする画期的成果を挙げるための研究である。すなわち HSC による広域宇宙撮像探査を行い、取得したデータからバリオン振動及び重力レンズ効果を用いた研究手法によって  $w$  の値とその時間発展を詳細に解明し  $w$  を決定することを目的とする。そしてその遂行のために「超広視野カメラの製作とサーベイ観測」を旨とする研究項目 A と、「」を行う研究項目 B の二つの研究項目を設置することとする。

#### 研究項目 A 超広視野カメラの製作とサーベイ観測

HSC を搭載するすばる望遠鏡は他にはない焦点距離の短い「主焦点」を有している。短い焦点距離はすなわち広視野を意味し、一度の撮像で広い領域をカバーすることができる。すばるの主焦点は直径 0.5 度角でほぼ満月の大きさに達し、現在搭載されている Suprime-Cam はこの広視野を活かしてすでに多くの研究成果をあげており、例えばダークエネルギー研究においては  $w$  が無い宇宙モデルを棄却することができた。しかしながら宇宙全体を議論するには統計量が圧倒的に足りず、より「広い」(1,000 平方度程度) 観測の重要性から Suprime-Cam の大幅なサーベイ能力向上が不可欠となった。研究項目 A では計画研究 A01, A02 が共同で Suprime-Cam の 10 倍の視野を持つ HSC の製造とそれによる広視野探査の実現をその目的とする。

主焦点において広い視野にわたって高像質を得るためにはレンズ群で構成される補正光学系が必要であり、またその収差による像ぼけがシーイングより十分小さいことが求められるが、すでに検討を重ねた結果、硝材製造の制約から第一レンズの直径を 1.2m とした場合、特に重力レンズ解析に重要な波長 650~800nm 付近において科学要件を満たすことが確認されている。

カメラの要である CCD はこれまでその薄さのために赤外線領域で感度が急激に減少するという難点があったが、中性子法と呼ばれる半導体素材技術の進展により 300 $\mu\text{m}$  厚のウェハを完全に空乏層にし、波長 1 $\mu\text{m}$  で 50%以上の量子効率を得ることが可能となった。また、天文用として一般的な 2048 $\times$ 4096 ピクセル CCD の価格は裏面照射工程を要するため非常に高価格であるが、完全空乏型はこれを省略することで生産性を向上させることができる。

また HSC の観測では一晩で 576 Gbytes、さらに時間領域 (time domain) の観測を行うためにはその 10 倍程度の 5.76 TBytes のデータを取り込む事になりその処理は大きな課題となる。当領域研究では、高エネルギー物理学実験によって培われた大容量高速データ転送技術 Silicon TCPIP (SiTCPIP)を用いることでこのデータ処理を高速で行う事を実現する。

## 研究項目 B 超広視野サーベイの理論的研究

計画研究 B01 では、HSC によって行われる銀河広域探査で得られる銀河の空間分布から、宇宙のエネルギー密度の大部分を占めているダークエネルギーのどのような情報を得ることが可能であるかを調べ、実際の観測に向けた理論的準備を行うことを目的とする。その手法として、バリオン振動を用いてバリオン密度揺らぎの存在している時間・場所から観測者までの空間の構造、すなわちハッブルパラメーターを測定しそこからダークエネルギーの時間進化を得ることを目指す。この目的の達成には測光観測による推定が有効であることが示されているが、莫大な数の銀河の赤方偏移分布を  $z \sim 2$  程度まで測定することが必須であり、HSC の完成が待たれる。またいったん銀河分布の赤方偏移依存性が広視野探査によって得られればバリオン振動以外にも、銀河などの構造の時間進化が重力場に影響を及ぼし、そこを通過する宇宙マイクロ波背景放射フォトンのエネルギーを変化させる効果 (ISW 効果) からもダークエネルギーに対する重要な手がかりが得られることも期待されており、世界に先駆けて最先端の成果を出すための重要な研究と位置付けられる。

計画研究 B02 では、本研究領域が提案する HSC による大規模深宇宙探査サーベイを念頭に、遠方銀河像への重力レンズ歪み効果の観測量から大規模構造の質量分布を復元する方法を開発する。特に、その多色データから推定される銀河の測光的赤方偏移の情報と重力レンズ効果を組み合わせることで、擬 3 次元空間 (赤方偏移空間 + 天球上の 2 次元位置) における宇宙の質量地図 (宇宙の質量トモグラフィ) を復元する方法を開発することを目指す。この方法を深宇宙サーベイに適用することで、宇宙構造の形成過程の赤方偏移進化が観測的に得られる。また、復元された質量地図で特に質量が密集した領域 (重力レンズ効果が強い領域) は銀河団に対応するので、赤方偏移の関数としての質量で選択された銀河団カタログを構築できる。銀河団の質量関数は構造形成モデルのみならず宇宙の膨張則を通して暗黒エネルギーの性質に敏感であるので、それらを制限する方法を開発する。さらに、発見された銀河団領域の詳細な研究から銀河団の質量分布の統計的性質が得られる。Cold Dark Matter モデルの重要な予言の一つとして、冷たい暗黒物質が重力以外の相互作用を持たなければ、銀河団の質量分布に特徴的な質量プロファイルが出現することが示されているので、本計画研究から暗黒物質の素粒子的性質に観測的な制限を導出することができると考えている。