

# 欧文研究報告論文賞受賞に寄せて

浜名 崇

〈国立天文台 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: hamana.tk@nao.ac.jp

私たちがコスミックシア二点相関関数測定による宇宙論パラメータ推定を報告した2020年出版の論文 [1] が欧文研究報告論文賞に選ばれました。著者総勢20名は日本天文学会からこのような高い評価をいただいたことをたいへん喜んでいますが、著者20名というだけでかなり大人数ですが、この研究はすばる戦略枠プログラムとして実施されたハイパーシュープリムカムサーベイ（HSCサーベイ）の初年度データを用いたものであり、多数の関係者の貢献により成り立っています。本記事では受賞論文の概略と、本研究の実現に不可欠であった関連研究について述べます。

## 1. はじめに

コスミックシアとは遠方銀河の像がその手前の構造による重力レンズ効果により歪められる現象です。重力レンズ効果による銀河像の歪みというと銀河や銀河団のごくごく近くに現れる重力レンズアーク像やアインシュタインリングといった、いわゆる強い重力レンズ現象 [2] が視覚的なインパクトをもって思い起こされるわけですが、コスミックシアはより弱い重力レンズ現象によって引き起こされるほんのわずかに像が歪む現象です。弱重力レンズ効果とも呼ばれています。強い重力レンズ現象がごくごく限られた領域でのみ生じるのとは異なり、弱重力レンズ効果はすべての遠方銀河が（程度の違いはあるにせよ）その影響を受けています。ただし弱重力レンズ効果の典型的な大きさは数パーセント（銀河像が円形であった場合、長短軸比が数パーセントの楕円形に歪められる）と銀河像の典型的な長短軸比である数10パーセントに比べてとても小さいので個々の銀河像にその効果を認識することはできません。しかし、弱重力レンズ効果による遠方銀河像の歪みは、重力

レンズ源である宇宙の構造の潮汐場に沿ったコヒーレントなパターンを持っているので多数の銀河像を解析することにより統計的シグナルとして検出することができるのです。このシグナルから潮汐場情報が引き出され、それから潮汐場を作り出している宇宙の物質分布情報に繋がり、さらにそれから宇宙の平均密度や物質分布の揺らぎの度合いなどが推定できます。この統計解析をコスミックシア宇宙論解析と呼んでいます。

本記事を書くきっかけとなった研究はHSCサーベイのデータを用いたものです。HSCサーベイについては、2019年に天文月報で特集が組まれ [3]、その概要 [4] に加えてデータ解析や天体カタログ作成、期待される研究などについて14本もの記事にまとめられています。そんな大掛かりなプロジェクトをあえて一文でいうならば、トータルで1100平方度の領域を複数バンドで撮像観測し、得られたデータでもって研究者（あるいはグループ）が各々の研究を行う、というものです。サーベイデータはデータリダクションチームが解析し、検出された天体カタログはチーム内で共有され一定期間後には公開されま

す。また各々の研究で作られたデータのうち汎用性の高いものは公開されています [5]。可視光銀河団カタログ [6] や銀河の測光的赤方偏移カタログ [7] などがその例です。このサーベイプロダクトの共有がHSCサーベイを単に複数の研究の寄せ集めではなく、そこから自ずと相乗効果が生み出されるプロジェクトにしていると私は感じています。次章で述べますように私たちがコスミックシア解析を行ううえでも、天体カタログに含まれている各種付随情報や、測光的赤方偏移カタログが重要な役割を果たしています。私たち弱重力レンズ効果を用いた科学研究を行う研究者も弱重力レンズワーキンググループとして弱重力レンズ解析に必要なデータ解析やカタログ作成などを行っています [8]。

そろそろ本題に入っていきます。私たち弱重力レンズワーキンググループはHSCサーベイの初年度データを用いてコスミックシア二点相関関数による宇宙論解析を行いました。その論文 [1] は2020年にPASJより出版され、2023年度の欧文研究報告論文賞に選ばれこの記事を書く機会をいただきました。この受賞については関係者一同おおいに喜んだのですが、私はこの記事を書くことになっていたので正直「困ったことになったな」という気持ちでいました。と言いますのも、この論文とは別に、全く同じデータを使って基本的には同じ解析をコスミックシア統計量だけ別もの（二点相関関数とフーリエ変換関係にあるパワースペクトル）で行った論文 [9] があって、その解説記事はすでに天文月報に掲載されているのです [10]。同じデータを使っているためデータから抽出される情報には異なる部分があるので（本研究の場合、二点相関関数の方がより広い範囲のフーリエモード情報を使っている）結果が一致するかは自明ではありません [11]。ところが2つの論文は結果も整合的なので、ここで普通に解析記事を書いたのでは2番煎じにしかならないわけです。さらに喜ばしくも

困ったことに、弱重力レンズワーキンググループはHSCサーベイ3年目までのデータを用いた弱重力レンズ解析を完成させ2023年にシリーズ論文として発表しているのです [12-18]。その解説記事もすでに天文月報に掲載されており [19]、ここでは“今後の展望”まで丁寧に記述されているのである。なんやねんほんまに、である。今さら何を書くねん、もうええやん…すみません、やさぐれて文体が乱れました。というわけで、当該研究の解説やその後の進展と今後の展望については過去の記事 [10, 19] を読んでもらうとして、この記事ではこの研究に重要な貢献をしているがまだ取り上げられていない関連研究を紹介します。

## 2. 弱重力レンズ銀河カタログ作成の産業革命

はじめはHSCデータリダクションチーム関係者のおかげで弱重力レンズ銀河カタログ作成が大幅に自動化されてとても感動した話をします。

弱重力レンズ銀河カタログというのは、コスミックシア統計を含む弱重力レンズ解析をする際に不可欠な銀河の形状情報を含んだカタログです。これを観測データから作成する手順は大雑把に以下のようなステップになります。

- 1) 撮像データ処理
- 2) 天体検出と明るさやサイズ等の測定
- 3) 星と遠方銀河の選択
- 4) 点像分布関数（point spread function, PSF）の測定とその2次元空間変動のモデル化
- 5) 銀河像の形状測定とPSF補正

ステップ2) までは他の系外銀河観測研究と変わりませんがステップ3) はちょっと特別な注意が必要です。というのは、弱重力レンズ解析では銀河像の非等方性を表面輝度分布の四重極モーメントで定量化するのですが、その際に測定したい銀河以外からの光が混じっていると正確な測定ができないので、測定に影響を及ぼすような光の混入がありえる領域を除外する必要があります（マ

スキングと呼びます)。その代表的なものは、明るい星や銀河の周りのハローやブルーミングトレイルと呼ばれる領域、飛行機や人工衛星の反射光トレイル、何らかの理由でデータ処理がうまくできていない領域などです。

私は2000年頃から弱重力レンズ解析を行ってきたのですが、HSCサーベイ以前はこのマスク処理は手作業でした。私の場合はds9という天文業界でおなじみのイメージビューアーで画像を表示して、ds9のregion機能を使って除外すべき領域（マスク領域）のマスクリストをあらかじめ作っておいて、ステップ2)で検出された天体のうちマスク領域内のは除外するという手順で行っていました。その当時自動化できていたのは明るい星のハローのマスクだけで、それは国立天文台の宮崎聡氏が作った星の明るさとハロー半径の半経験則関係を使ったスクリプトでした。当初自分のマスク作成に不安を感じていた私は、Canada-France-Hawaii Telescopeのデータを使って弱重力レンズ解析を行っていたフランスのチームでデータ解析を主導していたYannick Mellier氏に助言を求めました。私のマスク領域を確認したMellier氏は問題なく作られていると言ってくれましたが、マスク領域としてポリゴン（多角形）を使うことを強く推奨しました。私はボックス（長方形）領域を使っていたのですが、ポリゴンの方がより細かい領域指定ができるのです。しかし二点だけ指定すればよいボックスに対し、多角形の頂点を指定するポリゴンの細かいマスクファイル作成は私のずぼらな性格にはまったく合わず、結局ボックスを使い続けることになったのです。このことはポリゴンへの後ろめたさとして後々まで私の心に引っかかり続けました。ちなみに、2015年に出版された論文 [20] ではおよそ10平方度のシュプリームカムアーカイブデータの弱重力レンズ解析を行い、この時は1日3時間ほどds9にとらめっこして1-2平方度分のマスク領域リストを作る（これ以上続けると集中が切

れてミスが多発する）という作業を1週間ほど続けるという完全なる家内制手工業体制でした。

HSCサーベイデータの弱重力レンズ解析ではマスク処理は完全に自動化されています。これはHSCデータリダクションチームならびに関係者の多大な労力によるものです。私の記憶では、初めはJean Coupon氏らによる明るい星のマスクでした [21]。Coupon氏らは明るい星周辺の輝度分布を詳細に調べ、星の明るさとマスクすべき領域の関係をフィルターごとに求めました。その後、HSCデータリダクションチームが明るい銀河に対するマスク処理、何らかの理由で光の混入やデータ処理がうまくできていない領域のマスク処理をパイプラインに実装し、検出された天体がそういったマスク領域にあった場合は対応するマスクフラグが立つようになりました [21-24]。これによりマスク処理は元の銀河カタログから該当するフラグが立っている銀河を除外する処理をするだけでよくなりました。私にとってこれはまさに産業革命でした。なにより素晴らしかったのは、私はこれによりポリゴンへの悔恨の念から解放されたのです。RCサクセッションの“ヒッピーに捧ぐ”という曲に「空を引き裂いて 君がやってきて 僕らを救ってくれと言った」という一節がありますが、私の心情はまさにこれで、Coupon氏はじめ関係者の皆さまはまさに救世主だったのであります。サンキュー関係者ー！サンキューベイビー！愛してるぜー！すみません、感謝のあまりキヨシローが憑依してしまいました。

正気に戻ります。また、上記弱重力レンズ解析手順のステップ4)もHSCデータリダクションチームのおかげで大変な省力化が実現しました。まずステップ4)と5)を簡単に説明します。遠方銀河の像は地上で観測されるまでに、(1) 重力レンズ効果、(2) 地球大気の流れ層による波面乱れ、(3) 望遠鏡カメラ光学系の収差、という3つの原因によって歪められます。(2)と(3)は弱重力レンズ解析ではノイズとなりますので取

り除く処理をします (PSF補正と呼びます)。ちなみにHSCの先代のシュープリームカム画像を使ったPSF歪みの解析では(3)の光学系起源の像歪みは典型的にはコスミックシア起源のその数倍だが画像中でスムーズに変化する、一方(2)の大気乱流起源の像歪みはHSCサーベイの積分時間の場合コスミックシアの数分の1だが乱流起源なので画像中で複雑な変化をする、ということがわかっています [25]。HSCの画像でも(3)は同程度で(2)は同じ望遠鏡なので変わりません。どちらも無視できない大きさなのです。

PSFによる像変形は元々の銀河像にPSFが畳み込まれた結果なので、その補正は基本的には画像内の各銀河位置でのPSFを求めてその影響を除去する、という処理になります。まず画像内の多数の星像に対してそれぞれのPSF形状を測定し、それらの画像内での変化を多項式で表現するモデルを作ります。このモデルから銀河の位置でのPSFを求めるのです。当然PSFモデルは十分正確に作られていなければいけません、何らかの原因でそうっていない領域がまれにあります。弱重力レンズ解析ではそういった領域は除外します (これもマスキングの一部です)。問題はそのようなマスク領域をどうやって見つけますか。弱重力レンズワーキンググループの検討の結果、HSC天体カタログに含まれている星の位置での真のPSFとモデルPSFの輝度分布の差 (具体的には星像PSFとモデルPSF像の四重極モーメント行列のトレースとトレースなし対称成分の大きさの差) がPSFモデルの精度のよい指標になることを見つめました。その差があるしきい値より大きな領域はPSFモデルに問題がある領域なので除外します。この処理も、HSCデータリダクションチームがパイプラインにPSFモデル作りを実装しており、天体カタログに必要な四重極モーメントの情報を付加してくれたおかげで、ほぼカタログから必要なデータを読み込んで簡単な処理をするだけで済んでいます。

この章で紹介したのは弱重力レンズ解析のほんの一部ですが、私は一連の解析を通して大規模サーベイにおいては共有されるカタログの充実がそこから生み出されるサイエンスの生産性に直結するということを実体験をもって学びました。カタログの充実には多様な測定値があることに加えて、その定義や測定法を説明する解説がよく整えられていることも含まれます。HSCデータリダクションチームの貢献を記述してきましたが、とても使い勝手のよいカタログと解説をwebに整備してくれているHSCデータアーカイブチームの貢献もとても大きいです、感謝します。

### 3. 全天重力レンズシミュレーションと働き者の妖精たち

次はHSC弱重力レンズ宇宙論解析の中で重要な役割を果たしている擬似HSCサーベイ弱重力レンズカタログにまつわる話です。これは全天重力レンズ数値シミュレーションをもとに作られています。その数値計算コードを書いたのは私なのですが、素晴らしい先見の明を持つ方に使っていただいたおかげで世界的に重用されるシミュレーションデータセットが作られた、というコード開発者にとってうれしい展開がありました。

まず重力レンズ数値シミュレーションについて簡単に解説します。重力レンズ現象は重力による光軌跡の曲がりなので、光の測地線を解くこととなります。弱重力レンズ現象は微小な効果なのでほとんどの場合、重力ポテンシャルに対して線形化した方程式を解けば十分に正確な答えが得られます。さらにもし重力ポテンシャルを作る宇宙の物質分布が線形成長段階であれば、コスミックシアパワースペクトルなどのコスミックシア宇宙論解析に直結する統計量は線形物質パワースペクトルを介して解析的に得られます。しかし実際に弱重力レンズ現象に寄与する構造は非線形成長段階にあるので線形モデルは使えません。コスミックシア統計量の正確な理論モデルの構築のためには

現実的な重力レンズ数値シミュレーションが必要なのです。コスミックシア以外にも銀河分布と弱重力レンズ効果との相互相関関数や弱重力レンズ効果から得られる宇宙の射影密度場を用いた宇宙論解析など、重力レンズ数値シミュレーションの応用範囲は広いです。

このような動機から私は20世紀おしまいの頃から重力レンズ数値シミュレーションを行ってきました [26]。これは宇宙論的N体計算を行って作られた構造の重力場中で光を伝搬させる計算なのですが、当初は計算能力の関係でN体計算のボックスサイズが数100メガパーセク程度だったのと、天球面を平面で近似する手法を使っていたので、重力レンズシミュレーションで計算できる領域はせいぜい $5 \times 5$ 平方度程度でした。ちなみに、21世紀初めに私はすばる望遠鏡シュープリームカムの開発者観測時間(GTO)で撮られたデータにアクセスする機会を得て、そのコスミックシア宇宙論解析を行ったのですが [27]、そのデータ領域は約2平方度でした。 $5 \times 5$ 平方度でもアクセス可能な実データよりずっと広がったのです。天球面上のデータ領域を平面と近似して問題なかった古きよき時代でした。

さて時間を10年ほど進めます。HSCサーベイが現実のものとなってきた2013年ころ、さすがに $5 \times 5$ 平方度領域では実データより小さくなってしまいますので、シミュレーション領域の拡大を考え始めました。検討していくと実は計算領域を全天にしてしまうのが一番簡単だということがわかりました。というのは数値シミュレーションの多くのプロセスが球面調和変換を使って高速化できると、それに伴い平面近似をしなくて済むからです。計算機の能力も発展していましたし、国立天文台天文シミュレーションプロジェクト(CfCA)のスーパーコンピュータも利用できたので十分な空間分解能を持ち高赤方偏移までカバーできる大規模なN体計算も現実的な時間で行えるようになっていました。そういったわけ

で、全天重力レンズ数値シミュレーションを実施して数セットのデータを作りました。私はこのデータを前章で述べた10平方度の弱重力レンズ宇宙論解析(射影密度場から検出された銀河団の数計測)の誤差評価に用いました [20]。今にして思うとこの研究は小グループで自前の観測データ解析とシミュレーションデータを使って行ったユニークな仕事でしたが、それゆえ観測データ領域そしてその成果も限られたものでした。ちなみに、弱重力レンズ効果により検出された銀河団を用いた宇宙論研究は先述のシュープリームカムGTOデータを用いた宮崎聡氏らによる研究 [28]で切り拓かれました。これもコスミックシアと同じく弱重力レンズ解析ではあるのですが、より多くの遠方銀河数密度が要求されるため、現状では深い撮像データが得られているHSCサーベイがこの分野をリードしています [29]。

話を戻しますと、これをおおいに活用してくれたのが弘前大学の高橋龍一氏です。彼は全天重力レンズシミュレーションの大規模なデータセットを作ったのですが、その優れている点は、(1) 銀河に対する重力レンズ効果だけではなく宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の温度マップへの重力レンズ効果まで計算した、(2) レンズ源となるN体シミュレーション物質分布中の暗黒物質ハローの空間分布データも作った、(3) 108もの独立なデータセットを作り、そして(4) すべてのデータをwebからダウンロード可能な環境を作ったことです [30]。彼からその計画を初めて聞いた時はその計算量とそれに伴うデータ処理作業の多さにおののき、こんなややこしい作業ができるのは妖精かなんかだけやろ、とその実現を疑問視していました。もちろん几帳面な高橋氏はきっちり完成させたのです。私の中で高橋氏イコール妖精という等式が成立した瞬間でした。

その論文は2017年に出版されたのですが、現在でもこれに匹敵するデータセットは作られておらず国内外の宇宙論研究で広く用いられ重要な役

割を果たしています。応用範囲も広く、荒く分類すると (1) 理論モデルの検証, (2) 観測データ解析手法の開発や検証, (3) 測定データの (主にサンプルバリエーションに起因する) 誤差評価, などです。銀河に対する弱重力レンズ効果のみならず, CMB に対する弱重力レンズ効果の研究にも使われています。実際このデータセットは現在までに 80 編以上の査読論文で使われています。さすがにそろそろこれを凌駕するデータが作られると思われるのですが, 現時点では弱重力レンズ宇宙論研究の基盤データの一つとなっています。

この高橋氏のデータセットを使って擬似 HSC サーベイ弱重力レンズ銀河カタログを作ったのが国立天文台/統計数理研究所の白崎正人氏です。彼は HSC サーベイの本物の弱重力銀河カタログと同じ天球面分布を持つが, 赤方偏移と固有の銀河形状は異なる (ただしそれらの統計的分布は本物のカタログと同じ) 擬似銀河のカタログを作り, それに重力レンズシミュレーションデータの対応する位置 (天球面位置と赤方偏移) の重力レンズ効果データ値を割り当てることで擬似 HSC サーベイ弱重力レンズ銀河カタログを作成しました [31]。HSC サーベイは全天の一部の領域を占めるのみなので, HSC サーベイ領域を重複がないように平行移動コピーすることで一つの全天データから独立な 13 個の擬似カタログを作り, トータルで 1,404 個もの擬似カタログを作りました (HSC サーベイ 3 年目弱重力レンズ銀河カタログの場合)。この作業もかなりややこしく, 当然白崎氏イコール妖精です。

この擬似カタログは HSC サーベイの弱重力レンズ宇宙論解析の様々な段階で重要な役割を果たしています。代表的なのは弱重力レンズ統計量を使った宇宙論パラメータ推定が正しい値を求めることができるか確認するテストです。宇宙論解析では測定値とモデル予言値をベイジアン統計の枠組みを使って統計解析して宇宙論パラメータを求めるのですが, 宇宙論パラメータ以外にも多数の

モデルパラメータを同時に扱うので正しい宇宙論パラメータが得られるかは自明ではありません。擬似 HSC サーベイ弱重力レンズ銀河カタログでは使われている宇宙論パラメータがわかっているので (重力レンズシミュレーションを行う際に指定されている) このテストを行うのに最適なわけです (もちろんテストには合格しています)。そして, もっとも重要なのは HSC サーベイ弱重力レンズ統計量データの共分散行列がこの擬似データを使って求められているということです [19]。宇宙論パラメータ推定で一番重要なのはいわゆる信用区間を正しく求めることですが, それには適切な共分散行列を用いる必要があります。白崎氏の擬似カタログは全天シミュレーションを基にしているのでサンプルバリエーションと非線形構造形成効果が自然に含まれているのに加えて, 銀河の固有形状や赤方偏移分布といったパラメータ誤差にもっとも寄与する要素が統計的に正しく取り込まれているために宇宙論解析に最適なのです。

HSC サーベイデータはもちろんすばる望遠鏡による観測から得られたのですが, 先述の通り宇宙論解析では国立天文台 CfCA のスーパーコンピュータを使って作られたシミュレーションデータが重要な役割を果たしています。現在の理論天文学・宇宙物理学においてスーパーコンピュータによる数値シミュレーションは不可欠になっていますが, 大規模観測プロジェクトにおいても大きな役割を果たしており, HSC サーベイ弱重力レンズ宇宙論解析はまさにその一例です。

#### 4. むすびにかえて

この記事を書いていて, 私のこの 10 年間の弱重力レンズ研究は, 自前で観測データを処理して (あるいはアーカイブデータを活用して) 研究を進めるスタイルから, 複数の研究グループで大規模サーベイデータを共有しデータ処理を分担して各々の研究を進めるというスタイルへの移行を体験してきた時期であったのだということ改めて認

識しました。もちろん前者がなくなったわけではなく、各々の独自の研究活動から次の大規模プロジェクトの芽が出てくるのだと思いますし、育てていかなければならないのだと思います。私自身もなにかよい実がなる木を育てようと相変わらずの家内制手工業で試行錯誤を重ねています。

本記事でも述べましたとおり、HSCサーベイでは基本的な天体カタログに加えて各研究グループが生産したデータがアクセスしやすい形で整備されており、それにより弱重力レンズ宇宙論解析は大きな恩恵を受けました。これはもちろん偶然そうだったわけではなく、HSCデータリダクションチームやデータアーカイブチームをはじめとするHSCサーベイチーム関係者の入念な準備やそれを実現する多大な労力によるものです。改めて感謝します。

HSCサーベイ弱重力レンズ宇宙論解析で重要な役割を果たしている全天重力レンズシミュレーションは、国立天文台CfCAプロジェクトのスーパーコンピュータやファイルサーバーなくしては実現できませんでした。各種計算機を安定運用し提供してくれているCfCA関係者に感謝します。最後にすばる戦略枠プログラムを育ててきた多くの方々に感謝します。MOIRCSおよびいわゆる第2期装置の登場によってこういった枠組みが有効で必要だということが認識されて以来、一般の共同利用と戦略枠のバランスを保ちながら運用を行っているハワイ観測所スタッフ、およびそれをサポートしているコミュニティの皆様へ感謝します。

今現在HSCサーベイ弱重力レンズワーキンググループはすばる望遠鏡戦略枠の330夜という貴重な投資から得られた最終データの弱重力レンズ解析を慎重に進めています。科学成果の発表までもうしばらくお待ちください。

### 参考文献

[1] Hamana, T., et al., 2020, PASJ, 72, 16 (Erratum: 2022, PASJ 74, 488)

[2] 大栗真宗, 2019, 天文月報, 112, 167  
 [3] 小宮山裕, 2019, 天文月報, 112, 79  
 [4] 高田昌広, 2019, 天文月報, 112, 89  
 [5] <https://hsc.mtk.nao.ac.jp/ssp/survey/>  
 [6] 岡部信広, 他, 2019, 天文月報, 112, 174  
 [7] <https://hsc.mtk.nao.ac.jp/ssp/science/photometric-redshifts/>  
 [8] 梅津敬一, 他, 2019, 天文月報, 112, 117  
 [9] Hikage, C., et al., 2020, PASJ, 71, 43  
 [10] 日影千秋, 2019, 天文月報, 112, 720  
 [11] Hamana, T., et al., 2022, PASJ, 74, 923  
 [12] Zhang, T., et al., 2023, MNRAS, 518, 709  
 [13] Li, X., et al., 2022, PASJ, 74, 421  
 [14] More, S., et al., 2023, Phys. Rev. D, 108, 123520  
 [15] Miyatake, H., et al., 2023, Phys. Rev. D, 108, 123517  
 [16] Sugiyama, S., et al., 2023, Phys. Rev. D, 108, 123521  
 [17] Li, X., et al., 2023, Phys. Rev. D, 108, 123518  
 [18] Dalal, R., et al., 2023, Phys. Rev. D, 108, 123519  
 [19] 杉山素直, 2024, 天文月報, 117, 304  
 [20] Hamana, T., et al., 2015, PASJ, 67, 34  
 [21] Coupon, J., et al., 2018, PASJ, 70, S7  
 [22] Bosch, J., et al., 2018, PASJ, 70, S5  
 [23] Aihara, H., et al., 2019, PASJ, 71, 114  
 [24] Aihara, H., et al., 2022, PASJ, 74, 247  
 [25] Hamana, T., et al., 2013, PASJ, 65, 104  
 [26] Hamana, T., & Mellier, Y., 2001, MNRAS, 327, 169  
 [27] Hamana, T., et al., 2003, ApJ, 597, 98  
 [28] Miyazaki, S., Hamana, T., et al., 2002, ApJ, 580, L97  
 [29] Chiu, I., et al., 2024, OJAp, 7, 90  
 [30] Takahashi, R., et al., 2017, ApJ, 850, 24  
 [31] Shirasaki, M., et al., 2019, MNRAS, 486, 52

## Cosmological Constraints from Cosmic Shear Two-Point Correlation Functions with HSC Survey First-Year Data

Takashi HAMANA

National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

Abstract: Our paper, published by PASJ in 2020, on the cosmological constraints from the cosmic shear two-point correlation function, won the PASJ excellent paper award. All 20 co-authors are delighted and grateful for this high recognition. This research used data from the first year of the Hyper Suprime-Cam survey (HSC survey), which was conducted as the Subaru Strategic Survey Program. This article provides an overview of the award-winning paper and describes related research that was essential to the realization of this research.