慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	太陽系外惑星探索の高度化のための新しい天文コムの開発
Sub Title	Novel optical frequency combs for exoplanet search
Author	長谷川, 太郎(Hasegawa, Taro)
Publisher	慶應義塾大学
Publication year	2022
Jtitle	学事振興資金研究成果実績報告書 (2021.)
JaLC DOI	
Abstract	2000 年ごろに発明された「光周波数コム」という新しい種類のレーザーは、太陽系外の恒星の周りをまわる惑星の探査や、加速膨張する宇宙の加速度精密測定に応用できる(天文コム」という)。従来の天文コムは、利用できる波長範囲が極めて限定されている (波長800 nm-1100 nm、1500 nm-1600 nmなど)。本申請研究は、可視光はもとより、紫外線・中赤外線など、あらゆる波長範囲で天文コムを実現することを最終的な目標としている。紫外線の波長領域での精密分光天体観測により、惑星探査できる恒星系を大幅に増やし、太陽系外惑星天文学の発展に寄与できる。例えば、高温の恒星 (紫外線が多い)の惑星探査などが考えられる。 天文コムは、天体観測用分光器の校正に使用するための光周波数コムである。天文コムの現状での問題点は「周波数間隔が狭すぎる」ことである。狭すぎるため、分光器の波長分解能が不十分で、全体がつぶれて見えてしまう。このため、実際に天文コムを使うときにはモードの本数をある程度間引く(例えば1/100 に、光周波数間隔は100倍)必要がある。しかし、1/100 に間引くと、現状の方法では光パワーも1/100 になってしまう。本申請研究ではこの光パワーの損失が少ない新しい間引き方を提案・実施する。 本研究では「インターリービング」という新しい手法を使って天文コムのモード間隔を広げた。この際、高速に光の偏光と位相を同時に制御する必要があることが分かった。これを導波路型電気光学変調器を使って実現した。この結果、周波数間隔を4倍にすることに成功した。さらなる逓倍化も可能である。この手法では原理的にはパワー損失は全くなく、天文コムのハイパワー化が可能となる。 A new type of laser called "optical frequency combs", which were invented around 2000, can be applied to exploration of planets around stars outside the solar system and precise measurement of acceleration of the expanding universe (called "astrocomb"). Traditional astrocombs have a very limited range of wavelengths available (wavelengths 800 nm-1100 nm, 1500 nm-1600 nm, etc.). The eventual goal of this study is to realize astrocombs in various wavelength ranges such as ultraviolet and mid-infrared as well as visible. Precise spectroscopic astronomical observations in ultraviolet can greatly increase the number of star systems that can be explored and contribute to the development of exoplanet search. For example, exoplanet search of high-temperature stars, which emit ultraviolet rays, can be considered. Astrocombs are optical frequency combs used for calibration of astronomical spectrometers. The current problem with astrocombs is that the optical frequency intervals are too narrow. Then the wavelength resolution of the spectrometer is insufficient to resolve the optical comb modes separately, and the whole spectrum looks continuous. Therefore, when actually using astrocombs, it is necessary to thin out the number of modes (for example, mode number is reduced down to 1/100 , and then the optical frequency interval is multiplied by 100). However, in the case of mode number reduction of 1/100, the optical power will also be reduced down to 1/100 with the current scheme to thin out the mode number. In this study, we propose and implement a new thinning scheme without optical power loss. In this study, we used a novel scheme called "interleaving" to multiply the mode intervals of the optical frequency comb. It is found that fast control of the polarization and phase of light at the same time is necessary. This has been carried out by using a waveguide electro-optic modulator. As a result, we successfully quadruple the optical frequency interval of the optical frequency comb. Further multiplication is possible. In principle, there is no power loss with this scheme, and the optical power of the astrocombs can be increased.
Notes	
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2021000003-20210073

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

2022 年 3 月 3 日

2021 年度　学事振興資金（個人研究）研究成果実績報告書

研究代表者	所属	理工学部	職名	専任講師	補助額	200 （B）千円
	氏名	長谷川 太郎	氏名（英語）	Taro Hasegawa		

研究課題（日本語）

太陽系外惑星探索の高度化のための新しい天文コムの開発

研究課題（英訳）

Novel optical frequency combs for exoplanet search

１．研究成果実績の概要

2000 年ごろに発明された「光周波数コム」という新しい種類のレーザーは、太陽系外の恒星の周りをまわる惑星の探査や、加速膨張する宇宙の加速度精密測定に応用できる(天文コム」という)。従来の天文コムは、利用できる波長範囲が極めて限定されている（波長 800 nm–1100 nm、1500 nm–1600 nm など)。本申請研究は、可視光はもとより、紫外線・中赤外線など、あらゆる波長範囲で天文コムを実現することを最終的な目標としている。紫外線の波長領域での精密分光天体観測により、惑星探査できる恒星系を大幅に増やし、太陽系外惑星天文学の発展に寄与できる。例えば、高温の恒星（紫外線が多い)の惑星探査などが考えられる。

天文コムは、天体観測用分光器の校正に使用するための光周波数コムである。天文コムの現状での問題点は「周波数間隔が狭すぎる」ことである。狭すぎるため、分光器の波長分解能が不十分で、全体がつぶれて見えてしまう。このため、実際に天文コムを使うときにはモードの本数をある程度間引く(例えば 1/100 に、光周波数間隔は 100 倍)必要がある。しかし、1/100 に間引くと、現状の方法では光パワーも 1/100 になってしまう。本申請研究ではこの光パワーの損失が少ない新しい間引き方を提案・実施する。

本研究では「インターリービング」という新しい手法を使って天文コムのモード間隔を広げた。この際、高速に光の偏光と位相を同時に制御する必要があることが分かった。これを導波路型電気光学変調器を使って実現した。この結果、周波数間隔を 4 倍にすることに成功した。さらなる逓倍化も可能である。この手法では原理的にはパワー損失は全くなく、天文コムのハイパワー化が可能となる。

２．研究成果実績の概要（英訳）

A new type of laser called "optical frequency combs", which were invented around 2000, can be applied to exploration of planets around stars outside the solar system and precise measurement of acceleration of the expanding universe (called "astrocomb"). Traditional astrocombs have a very limited range of wavelengths available (wavelengths 800 nm–1100 nm, 1500 nm–1600 nm, etc.). The eventual goal of this study is to realize astrocombs in various wavelength ranges such as ultraviolet and mid-infrared as well as visible. Precise spectroscopic astronomical observations in ultraviolet can greatly increase the number of star systems that can be explored and contribute to the development of exoplanet search. For example, exoplanet search of high-temperature stars, which emit ultraviolet rays, can be considered.

Astrocombs are optical frequency combs used for calibration of astronomical spectrometers. The current problem with astrocombs is that the optical frequency intervals are too narrow. Then the wavelength resolution of the spectrometer is insufficient to resolve the optical comb modes separately, and the whole spectrum looks continuous. Therefore, when actually using astrocombs, it is necessary to thin out the number of modes (for example, mode number is reduced down to 1/100 , and then the optical frequency interval is multiplied by 100). However, in the case of mode number reduction of 1/100, the optical power will also be reduced down to 1/100 with the current scheme to thin out the mode number. In this study, we propose and implement a new thinning scheme without optical power loss.

In this study, we used a novel scheme called "interleaving" to multiply the mode intervals of the optical frequency comb. It is found that fast control of the polarization and phase of light at the same time is necessary. This has been carried out by using a waveguide electro-optic modulator. As a result, we successfully quadruple the optical frequency interval of the optical frequency comb. Further multiplication is possible. In principle, there is no power loss with this scheme, and the optical power of the astrocombs can be increased.

３．本研究課題に関する発表

発表者氏名 （著者・講演者）	発表課題名 （著書名・演題）	発表学術誌名 （著書発行所・講演学会）	学術誌発行年月 （著書発行年月・講演年月）
Taiki Kageyama and Taro Hasegawa	Fast polarization control for optical frequency combs	Optics Express	2021 年 11 月
蔭山大起、長谷川太郎	光周波数コムの高速偏光変調	日本物理学会 2021 年秋季大会	2021 年 9 月
蔭山大起、長谷川太郎	パワー損失の無い光周波数コムのモード間隔逓倍化	日本物理学会第 77 回年次大会	2022 年 3 月