

氏名	蔣 天翼
授与した学位	博士
専攻分野の名称	学 術
学位授与番号	博甲第 6 2 5 6 号
学位授与の日付	2 0 2 0 年 9 月 2 5 日
学位授与の要件	自然科学研究科 地球生命物質科学専攻 (学位規則第 4 条第 1 項該当)
学位論文の題目	Isolation, characterization and structural analysis of tetrameric photosystem I from a filamentous N ₂ fixing cyanobacterium <i>Anabaena</i> sp. PCC 7120 (フィラメンタス窒素固定シアノバクテリアであるアナベナ sp. PCC 7120 由来光化学系 I 四量体の精製と特性・構造解析)
論文審査委員	教授 沈 建仁 教授 高橋 裕一郎 准教授 菅 倫寛
学位論文内容の要旨	
<p>Photosystem I (PSI) is an integral membrane protein complex that harvests and converts light energy into chemical energy. In contrast to the major trimer form present in most cyanobacteria, a filamentous N₂-fixing cyanobacterium <i>Anabaena</i> sp. PCC 7120 has PSI present in a tetrameric form. However, our knowledge about the properties and structural organization of the PSI tetramer in this species is very much limited. Therefore, in this work, we focused on the isolation, characterization and structural studies of the tetrameric PSI from <i>Anabaena</i> sp. PCC 7120.</p> <p>First, we isolated the tetrameric, dimeric and monomeric PSI from <i>Anabaena</i> sp. PCC 7120 using a combination of anion-exchange chromatography and sucrose density gradient centrifugation. The analysis of their oxygen uptake activity and thermostability under different temperature conditions indicated that the temperature has a significant effect on the activity of PSI, and the tetramer has a higher resistance to heat stress than the dimers. Thus, the tetramer is unlikely an artificial aggregation of dimers but a native form of PSI in the N₂ fixing cyanobacterium <i>Anabaena</i>.</p> <p>Then, we analyzed the structure of a tetrameric PSI core isolated from the cyanobacterium <i>Anabaena</i> sp. PCC 7120, by single-particle cryo-electron microscopy (cryo-EM) at 3.3 Å resolution. The obtained PSI tetramer has a C₂ symmetry and is organized in a dimer of dimers form. Two types of interfaces were found to be required for the formation of the PSI tetramer. Type 1 interface is similar to that of monomer-monomer interactions found in the PSI trimer from other species of cyanobacteria, whereas type 2 interface exists in the connections between the two dimers and was found in the tetrameric form only. In particular, characteristic residues of PsaL with larger side chains are identified to be responsible for the formation of the tetramer.</p> <p>Finally, we investigated the effects of light intensity on the PSI oligomerization states and carotenoid compositions within <i>Anabaena</i> sp. PCC 7120. Our results show that expression of the tetrameric PSI is favored under high light, with an increased content of carotenoids (myxol 2'-fucoside and canthaxanthin). This work suggests that tetrameric PSI is an adaptation form to high light intensity, and the changes in the carotenoid compositions may indicate an important role of myxol 2'-fucoside and canthaxanthin on the photoprotection of the PSI tetramer under high light conditions. In conclusion, our studies provide new insights into the physiological significance of the PSI tetramer and its adaptation to high light conditions.</p>	

論文審査結果の要旨

光化学系I (photosystem I, PSI)は、光エネルギーを利用して水からの電子をフェリドキシンに渡す役割を持つ、光合成光エネルギー変換装置の一つで、これまでシアノバクテリアでは主に三量体として存在すると考えられていた。しかし近年、窒素固定シアノバクテリアで四量体のPSIが見つかり、その構造と機能が謎になっていた。本研究では、窒素固定シアノバクテリアの一種であるアナベナから四量体のPSIを効率よく精製する手法を確立し、その構造を電子顕微鏡で解析した。その結果、四量体PSIは2つの二量体から構成されており、二量体中における単量体間の相互作用は三量体中のものと同じであるが、二量体同士の相互作用は四量体特有のものであることが分かった。また、二量体同士の特有な相互作用を形成することを可能にしたのはPsaLサブユニットのいくつかの残基が大きな側鎖を持っているためで、これらの残基は四量体を形成する、窒素固定シアノバクテリアでは保存されていたが、三量体を形成するシアノバクテリアでは小さな側鎖を持つ残基に代わっていることが分かった。さらに四量体の生理的役割を明らかにするため、弱光と強光で培養したシアノバクテリア由来のPSI四量体を精製し、その色素組成を分析した。その結果、弱光下で培養したPSI四量体に対して、強光下で培養した四量体の方ではカロテノイドが増え、中でも、 β カロテンとエキネノン(echinenone)の量がわずかに低下したのに対して、ミキソフコサイド (myxol 2'-fucoside)とカンサキザンチン (canthaxanthin)の量が著しく増えたことが判明した。このことは、ミキソフコサイドとカンサキザンチンがPSI四量体の強光障害に対する保護作用があることを示唆している。

以上の結果は、窒素固定シアノバクテリアのPSI四量体の構造と機能に関して重要な知見を提供したものであり、論文発表会でも発表と質疑応答が適宜行われたと判断できる。よって、当該学生に博士(学術)の学位を授与することを認める。