



炭素の取扱いはバイオで

信州大学 伊原正喜

人工光合成には、大きく分けて、光エネルギー捕集ユニットと、光エネルギー変換ユニット、化学合成ユニットの3つがある。それぞれのユニットには様々な技術が存在し、その組み合わせで、多様なシステムを構築できる。例えば、化学合成ユニットを変えるだけで、様々な化学エネルギー（化合物）を得ることができる。

水素はエネルギーキャリアとして大きく取り上げられることが多いが、実は、炭素もキャリアとして重要である。炭素は、ギ酸、メタノール、メタンなど貯蔵や輸送に便利な分子としてエネルギーを保持できるだけでなく、化成品などに用途を広げる事もできる。炭素化合物は、燃焼後、二酸化炭素が発生するが、人工光合成によって生成された炭素であれば、カーボンニュートラルである。そのため、多くの研究者が、二酸化炭素からの炭素化合物合成を目指して、化学合成ユニットの開発を行っている。

筆者は、化学合成ユニットとして、二酸化炭素からギ酸を合成できる酵素、ギ酸デヒドロゲナーゼに注目している。酵素を用いるメリットの一つは、細胞内で二酸化炭素をギ酸に変換した後に、細胞内酵素の働きで高付加価値物質へ変換できることである。生物による二酸化炭素固定化と聞けば、植物の光合成を思い描く方も多いと思われる。しかし、植物における炭素固定は、多くの酵素が関わる複雑な反応であり、速度や効率は高くない。しかし、ギ酸デヒドロゲナーゼによる直接的な二酸化炭素還元反応 ($\text{CO}_2 + \text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{HCOO}^-$) は、シンプルで効率化が期待できる。ギ酸デヒドロゲナーゼによる反応は可逆的であるが、生成されたギ酸は、速やかに別の物質に変換す

れば、平衡をギ酸生成（二酸化炭素固定）の方向に傾けることも可能であろう。ギ酸デヒドロゲナーゼを用いた人工光合成系は、光合成生物（図（上段））や、水素分子を利用できる非光合成生物内（図（下段））に構築できる。

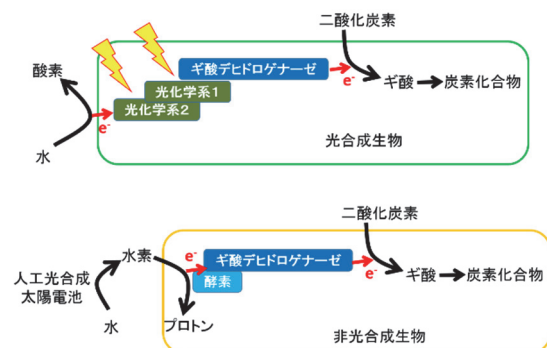


図. ギ酸デヒドロゲナーゼを利用した二酸化炭素固定系。光合成と組み合わせた系（上）と水素の還元力を利用した系（下）

ギ酸デヒドロゲナーゼであるが、世界的に見ても研究例が少ない。改良に関しては、筆者らの大腸菌由来ギ酸デヒドロゲナーゼの分子進化的手法学による改良が、ほとんど唯一である[1]。今後、さらなる改良とともに、自然界からより強力なギ酸デヒドロゲナーゼの探索が進められると思われる。加えて、強力なギ酸資化系も必要である。ギ酸資化系についても、人工的な資化系が開発されているが[2]、自然界からも強力なギ酸資化系が探索されるべきであろう。

バイオの研究者は、人工光合成と聞けばやや距離を置いてしまうかもしれない。しかし、酵素や細胞を利用する化学合成ユニットは、常温常圧で複雑な反応を進められるメリットを有しており、大きな貢献ができるはずである。

[1] *Photochem. Photobiol. A Chem.* 2015, 313, 154, [2] *Cur. Opin. Chem. Biol.* 2016, 35,1