

# Extended Phase Graph の直積演算子による解釈 [大会長賞記録]

押尾 晃一

慶應義塾大学医学部放射線診断科

Extended phase graph (EPG) の概念は古くからあり、パルスシーケンス設計において重要な役割をはたしてきた。当初は任意の位相をもつ RF パルスを扱えない等の問題があったが、その後改良を重ねて近年使われるものはほぼすべてのシーケンスを扱えるようになった。その一方概念的には複雑になり、直感的な理解が難しくなっている。

直積演算子は量子力学に基づいた理論であり、主に多次元 NMR パルスシーケンス設計に用いられてきた。厳密な理論でありながら扱いが容易で、図示による直感的な理解も可能である。今回 EPG の理論を直積演算子の観点から解釈することを試みた。

直積演算子の基底として球面基底  $I_0$ ,  $I_+$ ,  $I_-$  を用いた時、RF パルスによる変化および歳差

運動は EPG に現れる式とまったく同じ形で表される (図)。元々同じスピンを表す理論なので同じ形が現れること自体は驚くべきことではないが、直積演算子として解釈することにより理解がしやすく、また応用範囲も広がると考えられる。例えば、J カップリングは元々直積演算子で扱えるが、このことを応用して EPG を拡張して 2 スピン系も扱えるようにすることも可能であると考えられる。

Precession about the z-axis with freq  $\omega$

$$\begin{aligned} I_0 &\rightarrow I_0 \\ I_+ &\rightarrow I_+ \exp(-i\omega t) \\ I_- &\rightarrow I_- \exp(i\omega t) \end{aligned}$$

Pulse along  $\phi$  with flip angle  $\theta$

$$\begin{aligned} I_0 &\rightarrow \cos \theta I_0 - \frac{i}{\sqrt{2}} \sin \theta \exp(-i\phi) I_+ - \frac{i}{\sqrt{2}} \sin \theta \exp(i\phi) I_- \\ I_+ &\rightarrow -\frac{i}{\sqrt{2}} \sin \theta \exp(i\phi) I_0 + \frac{1}{2} (\cos \theta + 1) I_+ + \frac{1}{2} (\cos \theta - 1) \exp(2i\phi) I_- \\ I_- &\rightarrow -\frac{i}{\sqrt{2}} \sin \theta \exp(-i\phi) I_0 + \frac{1}{2} (\cos \theta - 1) \exp(-2i\phi) I_+ + \frac{1}{2} (\cos \theta + 1) I_- \end{aligned}$$

## Interpretation of extended phase graphs using product operators [Presidential Award Proceedings]

Koichi OSHIO

Department of Diagnostic Radiology, Keio University School of Medicine

Extended phase graphs (EPG) have been used from earlier days, and have had important roles in pulse sequence development. With recent developments, it became more versatile but also became complex and hard to interpret. Presented here is an attempt to interpret EPG using product operators.