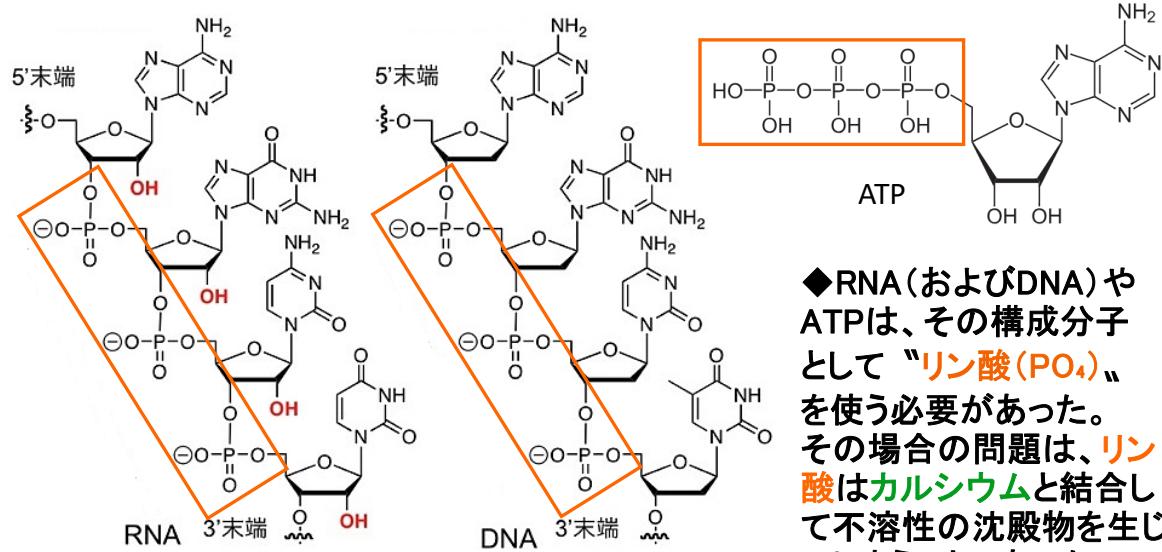


# カルシウムは昔も今も細胞にとって非常に危険な元素

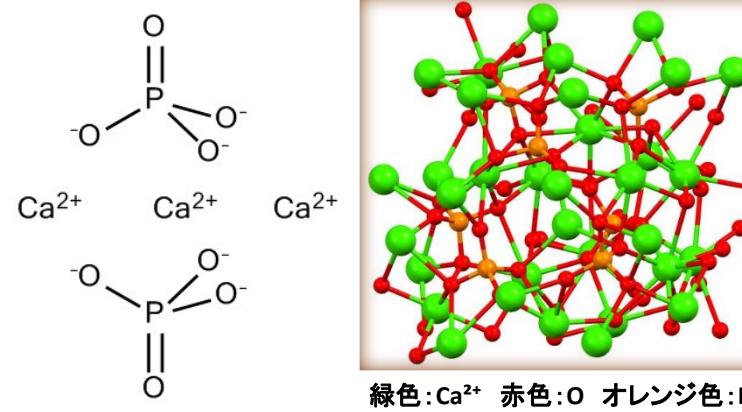
◆原始の細胞は、生きる方法を後代に伝えるための遺伝情報分子としてRNAなどの核酸を使う準備や、エネルギー代謝を円滑に進めるためのエネルギー通貨としてATPを使う準備を進めていた。



◆RNA(およびDNA)やATPは、その構成分子として“リン酸( $\text{PO}_4$ )”を使う必要があった。その場合の問題は、リン酸はカルシウムと結合して不溶性の沈殿物を生じてしまうことであった。

◆左図は、細胞内で生じる可能性の高い、リン酸カルシウム( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ )である。条件によって、不定形の沈殿物を生じたり、結晶を生じたりする。

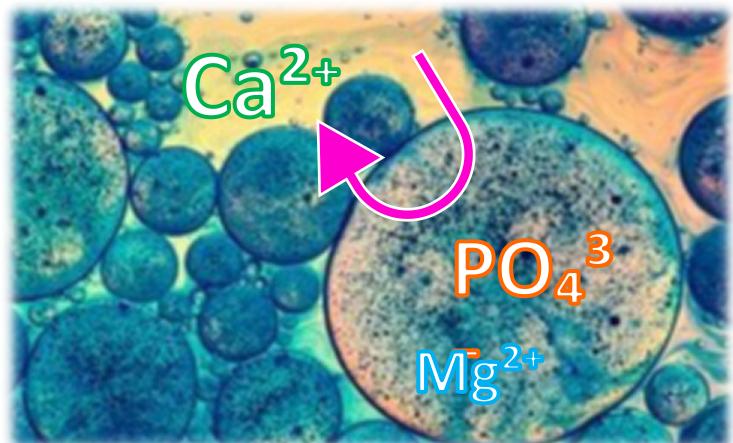
◆生命が誕生した約40億年前の海水には、1価の陽イオンになるナトリウムやカリウム、2価の陽イオンになるマグネシウムや



カルシウムが、ほぼ同レベルで含まれていた。その中では、特にカルシウムが邪魔だったのである。

◆そこで細胞は、内部に侵入してきたカルシウムを、可能な限り、細胞外へと排泄することにした。(そのような方法を探った細胞だけが、生き残ることができた。)

主な成分・イオン	生命環境における主要無機イオンの比較(単位:mmol/L、pHは数値)				
	約40億年前の海水(推定)	微小孔(アルカリ性炭酸塩チムニー)	LUCA細胞内液(推定)	哺乳類細胞内液	現代の海水
$\text{Na}^+$ (ナトリウムイオン)	10~100	←(同程度)	5~20	約10~15	約470
$\text{Cl}^-$ (塩化物イオン)	10~100	←	5~40	約3~10	約550
$\text{K}^+$ (カリウムイオン)	10~50	↑	80~160	約130~150	約10
$\text{Mg}^{2+}$ (マグネシウムイオン)	10~50	↓	0.5~2	約0.5~1	約53
$\text{Ca}^{2+}$ (カルシウムイオン)	10~50	↓	約0.0001	約0.0001	約10
$\text{PO}_4^{3-}$ (リン酸イオン)	微量	←↑	5~30	約1~10	約0.5
$\text{SO}_4^{2-}$ (硫酸イオン)	数~数十	↓	0.5~数	約0.5前後	約28
$\text{CO}_2$ (溶存二酸化炭素)	数百~数千	↓	間接的に関与	間接的に関与	約2
[pH]	約5(酸性)	↑	6.8~7.4	約7.2	約8.1



◆細胞内のカルシウム濃度が高まることによって生じる他の問題は、カルシウムがタンパク質の負電荷部位に強く結合しやすく、凝集や変性を起こしてしまうことである。

◆細胞が、2価の陽イオンを必要とする代謝系は多いが、カルシウムではなくマグネシウムを用いる選択をしたため、多くのことが上手く行くようになった。

◆マグネシウムは、カルシウムに比べてサイズが小さく、逆に水和半径が大きい

ため、リン酸と結合しても沈殿せず、安定した可溶性複合体を形成できる。例:Mg-ATP複合体、酵素の補因子、酵素反応の触媒機能など。

◆細胞内のカルシウム濃度は0.0001mmol/L(100nM)という極低濃度に保たれ、瞬間に流入させることによるスイッチングに使われる。