

談話室

転位はナルシスト それともラグーマン？

愛知工業大学総合技術研究所；客員教授
名古屋大学名誉教授

坂 公 恭

2019年は日本中がラグビーワールドカップ(Rugby World Cup, RWC)で沸き立った。ラグビーの中でも華がスクラムであろう。スクラムでは8人のフォワードが押し合う。これを転位論的に考察してみよう。8人の力が全く拮抗していたら、スクラム(即ち、転位)は移動しない。転位論では「何かの弾み」で押し合っているスクラムの一方がより強くなると転位(スクラム)が移動する。そのための力は、左右の押し合いの力の和($力_{\rightarrow} + 力_{\leftarrow}$)ではなく、その差($力_{\rightarrow} - 力_{\leftarrow}$)であり、それが、転位の運動によって引き起こされる塑性変形の開始応力(降伏応力)が、理論値($力_{\rightarrow} + 力_{\leftarrow}$)よりも遙かに低い理由とされている[†]。問題は「何かの弾み」の実体が何かということである。両チームのフォワードが全く同じ力量であればその内の一人が急に弱くなるとは考えられない。

ここまでがラグビーへの比喩の限界である。実際の結晶内では8人のフォワードの後には多数のプレーヤー(原子)が押し合いに参加している。今、左側の選手(原子)の総数を n 人、右側を n 人としよう。この場合は完全に拮抗していて転位は動かない。仮に右側の数が $n-1$ とすると、左側が一人分だけ優勢になり転位は右に移動する。すると、右側の数は $n-2$ となり、左側は $n+1$ となり、左右の差はますます拡大し、転位は右側に移動する。つまり一旦、左右のバランスが崩れると転位はとどまることなく右側に移動する。最終的には、転位は右側の結晶表面に達して結晶から抜け出す。すなわち、崖っぷちから転落する。(あるいはトライが成立する。)

転位が結晶のちょうど中央に位置する確率はほとんどない。つまり、ほとんどの転位は左右いずれかの結晶表面に吸

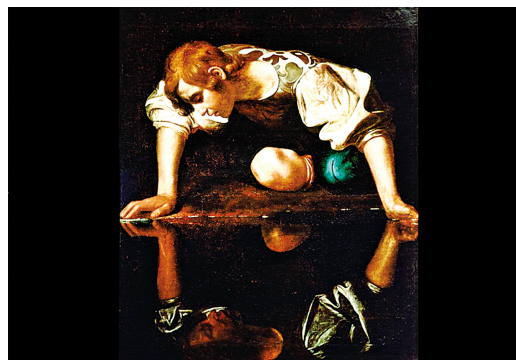


図1 カラヴァッジオによって描かれたナルキッソス。
(オンラインカラー)

い寄せられ、消える運命にあるはずであるが、実際には転位は結晶内に留まっている。これはラグビーに例えればフォワードが前進するのに一步一步と進まなければならないからである。仮に氷上でのスクラムであれば、強い方が一方的に押しまくり、転位は直ちに崖っぷちから転落する。この一步一步の前進に必要な(余分の)力が Peierls 力である。そのため転位は結晶からは簡単には抜け出せない。温度を上げると熱エネルギーの援けで Peierls 力を超えることがより容易になるので、転位は結晶から抜け出すことができる。

一方、転位の弾性論では転位による応力場が、結晶表面ではゼロになることが要請される。もし応力場が存在すれば結晶表面が弾性変形するからである。このためには、結晶の表面が鏡のようになり、マイナスの符号を持った転位があたかも存在するように見える。これを鏡像転位という。これはギリシャ神話のナルシス(ナルキッソス)が水に映った己の姿に恋をして、それに引き寄せられ命を失った話を連想させる(図1)。鏡像転位は英語では imaginary dislocation であり、想像上の産物である。転位が結晶のちょうど中心に位置していると、ナルシス(転位)は左右の2枚の鏡に映った己の姿にともに惹かれるであろう。しかし、実際は右顧左眄することはない。迷わず、1原子距離でもより近い鏡の方にまっしぐらに突き進み、哀れ、池に落ちて命を落とす。スクラムのたとえと全く同じことがいえる。ここでも、もちろん Peierls 力が最後には実際の転位の動きを支配している。

[†] オックスフォード大学名誉教授の Peter Hirsch 卿は、転位の存在こそが、現在の文明の礎であると喝破している。

I have a comment regarding your statement on page 1 “Metals and alloys.....variety and flexibilities.” (in *Introduction to Phase Diagrams in Materials Science and Engineering*, World Scientific Publishing, 2020, Jan.) (私信). That is only possible because of the existence of dislocations, which make metals ductile. If dislocations did not exist, our civilisation would be quite different. Usually defects are detrimental, but dislocations are beneficial!

(2020年2月7日受理)[doi:10.2320/materia.59.270]