

重い電子系における動的伝導度  
の普遍的関係  
(Universal Scaling in the Dynamical  
Conductivity of Heavy Fermion Ce and Yb  
Compounds)

物理講義室・改管理人

のまネコ (量産型)

<http://shrcat.blog91.fc2.com/>

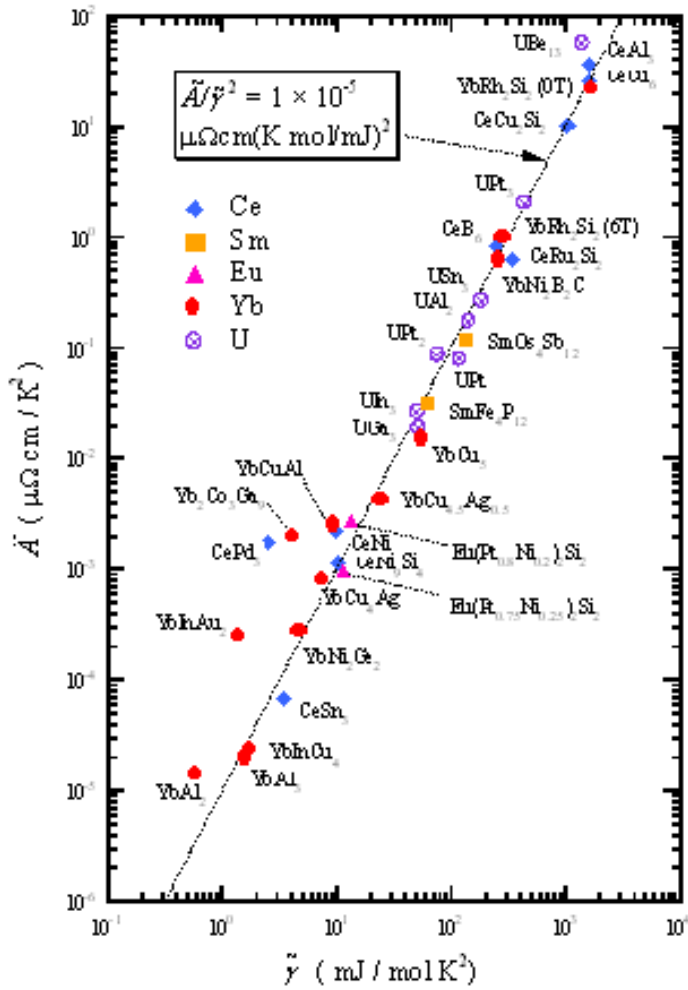


図1 低温での電気抵抗の係数  $A$  と比熱の係数  $\gamma^2$  の関係

- 重い電子系

周期律表の希土類金属の両端に近い  $f$  電子 1 個の  $Ce(4f^1)$  と  $f$  ホール 1 個の  $Yb(4f^{13})$  を含む合金や金属間化合物では、高密度に磁性原子が存在するにも関わらず低温まで磁気秩序が無い。実験的には  $Ce$  化合物において、低温まで磁気秩序を示さず、比熱が大きく有効質量換算で電子が 1000 倍程度も「重くなった」系が発見 (1975 年  $CeAl_3$ )

- 門脇-Woods 則

実験的に重い電子系の物質群において低温での電気抵抗 ( $\rho = AT^2$ ) の係数  $A$  は電子比熱 ( $C_e = \gamma T$ ) の係数  $\gamma^2$  に比例することが発見された。(図 1) また、理論的にも周期的 Anderson モデルより門脇-Woods 則が確かめられている。

[周期的 Anderson モデル]

$$\mathcal{H} = \sum_{k,\sigma} \epsilon_k c_{k\sigma}^\dagger c_{k,\sigma} + \sum_{k,\sigma} E_f f_{k\sigma}^\dagger f_{k\sigma} + \sum_{k,\sigma} (V_k c_{k\sigma}^\dagger f_{k\sigma} + V_k^* f_{k\sigma}^\dagger c_{k\sigma}) + U \sum_i f_i^\dagger f_i f_i^\dagger f_i \quad (1)$$

上のハミルトニアンにおいて、 $c_{k\sigma}^\dagger (c_{k\sigma}), f_{k\sigma}^\dagger (f_{k\sigma})$  はそれぞれ伝導電子と f 電子の生成 (消滅) 演算子である。周期的 Anderson モデルではこれらが  $V_k$  で混成し、同じ原子内の f 電子間にはクーロン相互作用  $U$  が働く。このハミルトニアンより

$$A \propto \gamma^2 \quad (2)$$

となることが示された。

- 今回紹介する論文について

4 f 電子を含む化合物に関して門脇-Woods とは異なる新たなスケーリング則 (普遍性) を発見。岡村英一氏は赤外線分光法 (光学伝導度) を用いて、様々な希土類化合物の励起スペクトルを系統的に調べそこにスケーリング則があることを見出した。

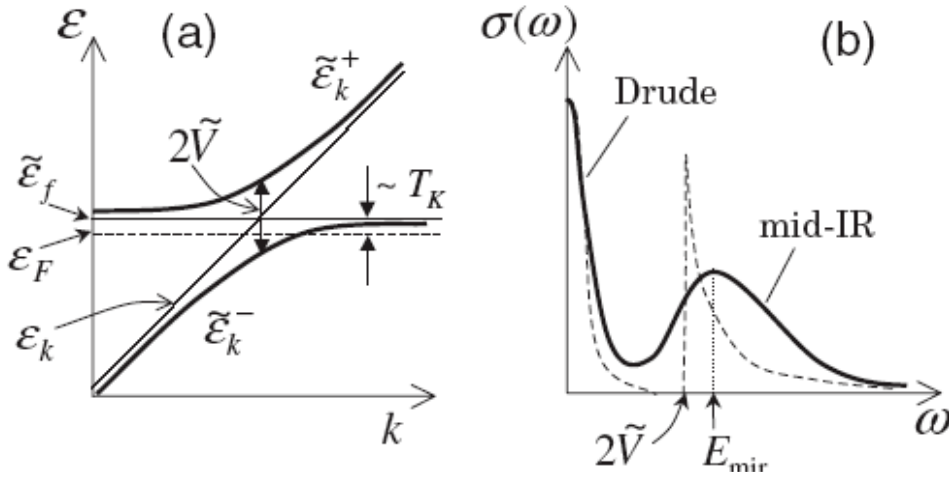


図 2 (a)Fermi エネルギー近傍での繰り込み混成バンドの散乱 (b) 励起スペクトル

今、 $2\tilde{V}$  の直接遷移のみを考えているため、 $2\tilde{V}$  と  $E_{mir}$  がずれていると考えられる。(理想的には  $2\tilde{V} \propto E_{mir}$ ) ここでは以下の様に仮定して解析が行われた。

$$2\tilde{V} \propto \sqrt{T_K W} \quad \left[ T_K = \frac{\pi^2 N_A k_B a}{3\gamma} : \text{近藤温度}, W : \text{バンド幅} \right] \quad (3)$$

赤外線分光法では波長 1 ~ 100 ミクロンの赤外線を物質に照射し、吸収される赤外線の強度と波長を測定する。結果、測定した全ての物質で 4f 電子による赤外線の強い吸収が観測され、吸収された赤外線エネルギーは 4f

電子の混成エネルギーに対してほぼ一定の比を持つことが発見された。

つまり

$$E_{mir} \propto \sqrt{\frac{a}{\gamma\gamma_0}} \quad [a: \text{軌道縮退}, \gamma: \text{相互作用の入った比熱の係数}, \gamma_0: \text{相互作用の無い比熱の係数}] \quad (4)$$

をプロットした。(図3) 比例係数  $\alpha$  は

$$\alpha = N_A k_B^2 \sqrt{\frac{8\pi^3}{9}} \quad (5)$$

となっている。

• まとめ

この研究では多くの Ce や Yb の重い電子系に対して  $\sigma(\omega)$  の特徴的な赤外線励起と  $\sqrt{\frac{a}{\gamma\gamma_0}}$  より見積もられる c-f 混成の強さ ( $2\tilde{V}$ ) との間に普遍的なスケーリング則があること示している。この光学的なスケーリング則は簡単な c-f 混成バンドで低エネルギー領域の重い電子系化合物を定量的に説明できることを実証している。中には例外も存在するが、重要な点はほとんどの重い電子系化合物の  $\sigma(\omega)$  が得られていてそれらが良くスケーリングされていることである。

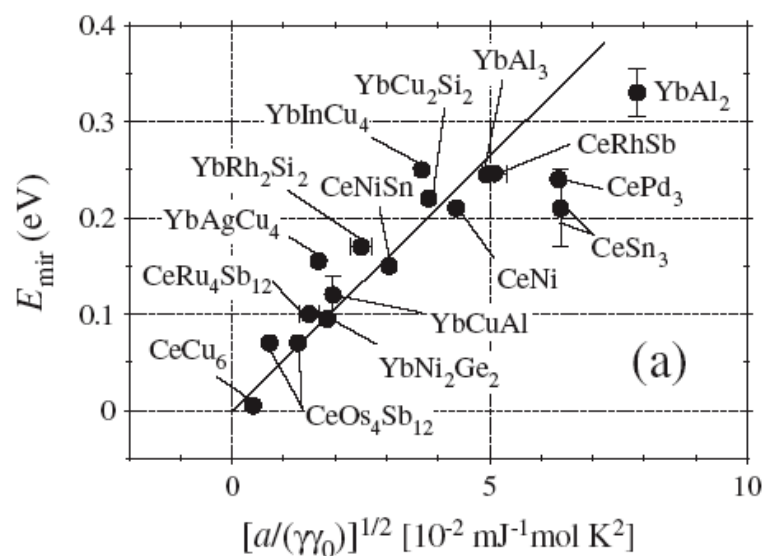


図3