

# A Comment on Experimental Results of Dilute Au (V) Alloys

( 東北大 ) 倉 田 泰 幸

( 10月13日受理 )

物性研究の最近号をまとめてパラパラ眺めているうちに柴田・長沢氏の論文<sup>1)</sup>から, Au(V) 合金についての実験解析<sup>2)</sup>があるのを知りました。その Dworin の論文中, 合金にしたための excess 比熱 ( $\Delta C_V$ ), 帯磁率 ( $\Delta \chi$ ) を組合せた次の量を低温で議論している箇所がありました。

$$\frac{\Delta C_V}{T (\Delta \chi)_{H=T=0}} \quad (1)$$

この量では, Kondo 温度  $T_K$  又はそれに相当する characteristic temperature が消去され, パラメタとしては結局有効ボーア磁子数を含んでいるだけで, 実験と理論値をいきなり比較できる量の1つだろうと考えられます。解析によると<sup>2)</sup>  $0.65 (k_B / \mu_B)$  が Au(V) について実験の与える値なのだそうです。( $k_B, \mu_B$  はボルツマン因子及びボーア磁子)。稀薄 Au(V) 合金は電気抵抗の振舞いが(7)式と fit することから Kondo 効果の実現している物質として最も早くから知られた<sup>3)</sup> もので, 文献 1) 2) で扱われている様に Al(Mn) 合金等と一緒にして localized spin fluctuation 理論や, Anderson ハミルトニアンから出発した Hartree-Fock 理論で何故議論しなければならないのか理解できないと云うのが, 以下の文の論旨です。

Kondo 効果を起こして, 低温で不純物スピンの死んでゆく様子を, Kuderman-Kittel-Kasuya-Yosida ハミルトニアンから描き出せる, 目下のところ最も正確な近似は Nagaoka-Yosida-Kurata によるもので, これは, 云わば, 不純物スピンと in-phase でついて動く伝導電子雲の寄与だけを取り出しているものです。落している out-of-phase 電子からの寄与が絶対零度近くで小さいことをきちんと説明した理論はまだありませんが, 文献 4) の自由エネルギーの計算

の様子から多分，帯磁率も含めて，無視できる程度のものだと思います。

筆者の理論<sup>5)</sup>では不純物スピンの大きさは $\frac{1}{2}$ に限っていますが，帯磁率の表式でのキュリー常数をKume<sup>3)</sup>の求めた有効ボーア磁子数  $g \sqrt{S(S+1)} \mu_B = 3.0 \mu_B$  で置きかえることにします。

$$\begin{aligned} \Delta \chi &= \chi_0 \cdot \frac{2}{\pi^2} \left\{ \frac{2 \pi T}{\Delta_{00}} + \dots \right\} \\ &= \frac{12 \mu_B^2}{\pi \Delta_{00}} + \dots \\ &\left( \chi_0 = \frac{g^2 S(S+1) \mu_B^2}{3 T} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

一方，比熱は低温で

$$\Delta C = \frac{2 \pi}{3} \frac{T}{\Delta_{00}} + \dots \quad (3)$$

で与えられます。 $\Delta_{00}$  は Kondo 温度  $T_K$  と

$$T_K = \frac{2 r}{\pi} \Delta_{00} \quad , \quad r = 1.78 \dots \quad (4)$$

の関係にあります。(2)と(3)から(1)として

$$\begin{aligned} \frac{\Delta C}{T \Delta \chi} &= \frac{2 \pi}{3} \frac{\pi}{12 \mu_B^2} = 0.55 (1/\mu_B)^2 \\ &\quad (k_B = 1) \end{aligned}$$

と求められる。

ついでに，文献5)では(2)の次の項をあらわに展開しておかなかったので書いておくと，

$$\Delta \chi = \chi_0 \cdot \frac{4}{\pi} \frac{T}{\Delta_{00}} \left\{ 1 - \frac{\pi^2}{6} \left( \frac{T}{\Delta_{00}} \right)^2 + \dots \right\} \quad (5)$$

Au(V) 合金の場合,  $T_K = 290^\circ \text{K}$ <sup>3)</sup> であるから理論では

$$\Delta \chi = \Delta \chi (T=0) \{ 1 - 1.4 \times 10^{-5} T^2 \} \quad (6)$$

となる。ついでに電気抵抗  $\rho$  に対しては Nagaoka<sup>6)</sup> によって

$$\rho = \rho (T=0) \left\{ 1 - \frac{\pi^2}{3} \left( \frac{T}{\Delta_{00}} \right)^2 \right\} \quad (7)$$

と与えられている。

最近の Au(V) の帯磁率の測定<sup>7)</sup> によると,<sup>1)</sup> 低温での振舞いは  $-2.22 \times 10^{-5} T^2$  と求められています。(ただし, 解析<sup>1)</sup> で使われる  $T_K$  と理論にあらわれるそれとが正確に定義が一致していないかもしれません。その時はオーダー 1 程度の違いがあります。)

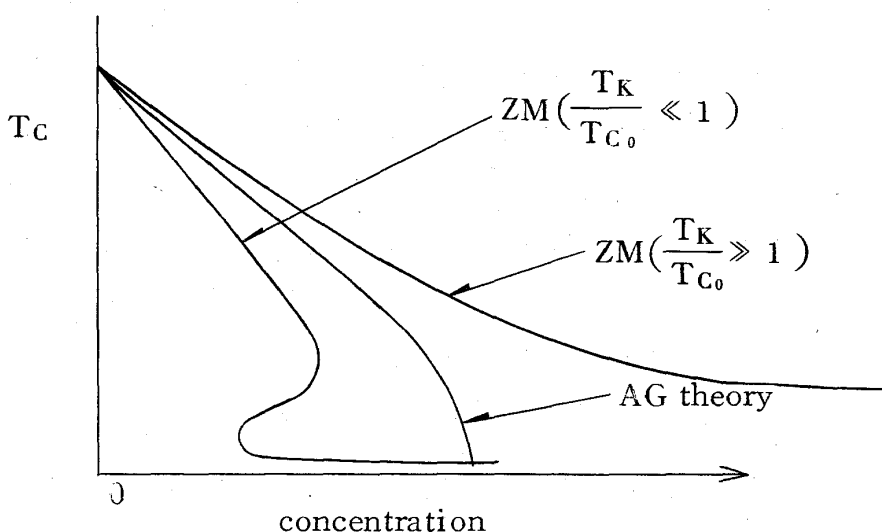
s-d 相互作用以外のメカニズムがかんでこないと言う吟味がない以上, 少し気持ちが悪いのですが, Au(V) では今まで通り s-d 相互作用による Kondo 効果が起きていると理解してよろしいのではないのでしょうか。少なくとも以上のことは実験を知らない理論屋の Arithmancy ではないと思われます。最近の Al(Mn) 合金の電気抵抗の実験<sup>8)</sup> では低温で  $T^2$  ではなく  $T$  で減少すると云う報告があり, やはり Au(V) 合金を Al(Mn) 合金と同断に扱うのはまずかろうと思います。

## 参 考 文 献

- 1) 柴田文明, 長沢博, 物性研究 16 (1971), 808.
- 2) L.Dworin, Phys. Rev. Letters 26 (1971), 1372.
- 3) K.Kume, J. Phys. Soc. Japan 23 (1967), 1226.
- 4) A.Yoshimori and A.Sakurai, Supplement J. Phys. Soc. Japan No.46 (1970), 162.
- 5) Y.Kurata, Prog. Theor. Phys. 43 (1970), 621.
- 6) Y.Nagaoka, Phys. Rev. 138 (1965), A1112.
- 7) J.E.Van Dam et al, Phys. Letters 34A (1971), 185.
- 8) E.Babić et al, Phys. Rev. Letters 27 (1971), 805.

去る 9 月 20 日から 24 日までハンガリーで Conference on the Electric and Magnetic Properties of Dilute Alloys が開かれました。日本人で参加した方は殆んどいなかったようですから、出席者の 1 人、真木（東北大）から倉田（東北大）あての手紙の報告の部分を紹介しておく方がよいと考えました。予告されたうち、Abrikosov は例によって結局出席しなかったようです。文中の Tihang の Balaton 湖とあるのが会議の開かれた場所で、最後にあるピアノ・コンクール云々とあるのは、26 日まで行われたリスト・バルトーク・国際ピアノ・コンテストのことだろうと思います。松崎伶子が 1 位に、3 位にも日本女性（失念しました）が入賞しています。（倉 田）

（前略） さてハンガリー会議は理論家は Anderson, Zittartz, Emery, Falde, Zackerman, Gorkov, Rivier 等，実験家は Narath, Van der Berg, Rizzuto, Caplin, Campbel, Cole, Meyer 等集まって思ったより盛会でした。たゞ normal state での Kondo Effect に関しては Anderson 派と Zittartz 派の対立したまゝで、LT12 以後の進歩は全然ないようです。たゞ Keiter とかいろいろの話で localized spin fluctuation と Kondo Effect とは全然関係がないということがはっきりしてきました。超伝導での Kondo Effect はこれから実験の方向として面白いと思います。特に最近の Zittartz-Müller-Hartman の  $T_c$  の concentration 依存性，特に  $\frac{T_K}{T_{C_0}} \ll 1$  の場合が Kolu の Wittig 達によって  $La_{1-x}Ce_xAl_2$  の系で

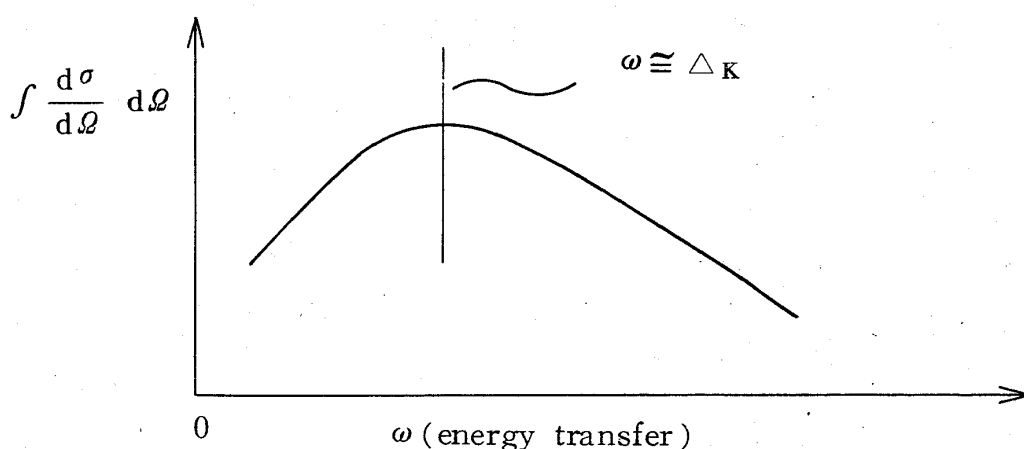


$(\frac{T_K}{T_{C_0}} \cong \frac{1}{30})$  checkされたそうです。ぼくは type II super conductor の場合の話をしてしたら、大部実験家の間に反応がありました。実験の方は低温では抵抗や帯磁率が  $T^2$  に依存することが確立されたようです。

$$\rho(T) = \rho(0) \left( 1 - a \left( \frac{T}{Q} \right)^2 \right)$$

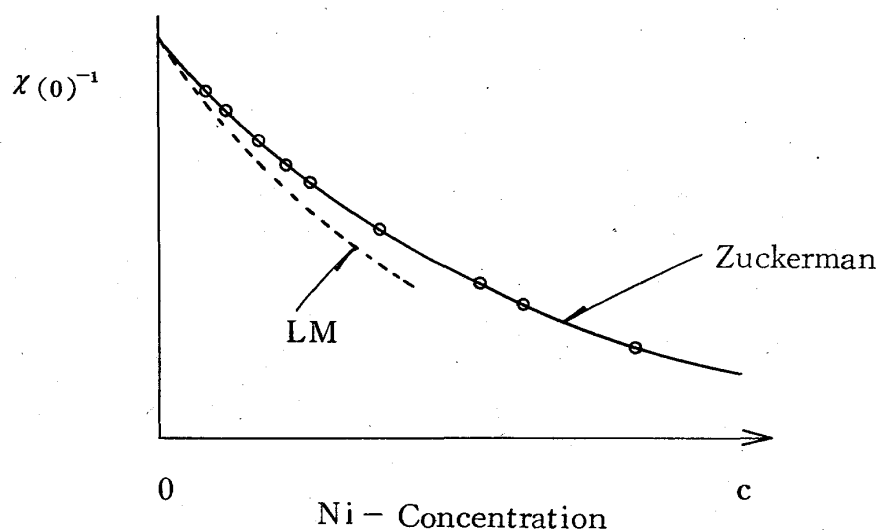
$$\chi(T)^{-1} = \chi^{-1}(0) \left( 1 + a' \left( \frac{T}{Q} \right)^2 \right)$$

君の理論で上の係数  $a, a'$  等の間の定量的な関係をくらべてはどうですか。他に Kondo Effect 関係では Dubna のグループが中性子散乱 (非弾性) で Al-Mn 系で structure を見たという報告がありました。Cu-Mn 系では未だいろいろ困難があるそうです。



理論では Tsuzuki 君もきていて fluctuation による Hall 効果の話をしました。他に面白かったのは Zuckerman が c.p.a の idea を用いて、Pd-Ni の nearly ferromagnetic state での  $\chi$  の enhancement factor を計算したことです。以前の Lederer-Mills の計算 (平均場近似) とくらべると  $c$  による nonlinear dependence がこれで説明できるそうです。

実験では Caplin の Zn-Mn 合金で Mn は 20% ぐらいの時に、この合金の性質はこの Pd-Ni 系とよく似てるそうです。例えば低温での電気抵抗とか帯磁率等で、それから Cole 達は 3d metal in 4d metal を系統的に調べているようで



す。Meyer の transition metal 間の合金での光吸収の実験は c.p.a 計算とは全然あわず、もっと naive な合金によって新らしい resonance level ができるという picture で説明できそうです。たゞ c.p.a によるとどんな density of states の curve になるのかはよくわかりませんでした。Tihany は Budapest の西南 200 km ぐらいのところにある Balaton 湖畔の美しい resort area です。日中はとても暖かだったので、水は少し冷たかったけれども水泳ができました。このあたりのワインとコーヒーは特においしいようです。たゞ毎日毎日だされるかさかさした schnitzel には少し困まりました。それに野菜も殆んど食べないようなので、会議の後 week end を Budapest で過しました。Budapest はドナウ河をはさんだ Buda と Pest からなる美しい街です。丁度、ボリショイ・オペラが来て連日オペラをやっているのですが券はとれませんでした。そういえば、国際ピアノ・コンクールをやっていて、日本からも3人きていて、そのうちの一人女性がなにか賞をもらったそうです。ハンガリー語はむつかしくってとっても話などできないのですが、年配の人はドイツ語がわかるので、日本人だとわかると上の話を聞かされました。

今週は、又、ドイツの物理学会の年会が Essen で開かれているので、今研究所は静かです。来週ぐらいからもう人もそろって来たのでにぎやかになりそうです。それでは皆様によろしく。

真 木 和 美