

ERLシンポジウム2011 -持続可能な社会を実現する放射光-

超高速光デバイス材料開発における課題



東京工業大学
腰原 伸也



謝辞：

最大限の敬意・感謝を表します：

KEK、PFはじめ諸施設運転再開に向けての世界中の科学者の支持、文科省、施設関係各位の努力に対し

「被災装置など復興への元気が、幅広い分野の人々に湧いてくるテーマの創出こそが最大の望み」
我々への励ましに（石巻の友人より）

Achieved under collaborations with

Professor H.Yamochi and Professor G.Saito Group (Kyoto Univ.)

Professor Y.Okimoto (Tokyo Tech.), Dr. M.Chollet (Tokyo Tech.)

Professor E.Collet and Professor H.Cailleau Group (Univ. Rennes)

Professor L.Guerin (Tokyo Tech. & Rennes)

Professor K.Miyano Group, Professor T.Arima (Univ. Tokyo)

Professor T.Sasagawa (Tokyo Tech.)

Dr. R. Schoenlein (LBNL)

Co-workers KEK-AR

**Professor S.Adachi Group, Professor H.Kawata
and all Photon Factory Staffs**

Acknowledgements

- **JASRI/SPring-8:** use of the CCD detector (marccd165)
- **SUNY Buffalo:** use of the heat-load chopper

本日の講演内容

超高速光デバイス材料開拓における課題と
そこに果たす新光源ERLの役割

1: 今日の物質開発共通課題

背景: 膨大なエネルギー消費 (ITの場合) の削減、
エネルギー形態高効率変換とその過程の自由制御

「物質世界の柔道を」

2: 超高速柔道技

psまでの実例 $(\text{Nd,Sr})\text{MnO}_3$
 $(\text{EDO-TTF})_2\text{PF}_6$,

ERLで何が期待されるか？

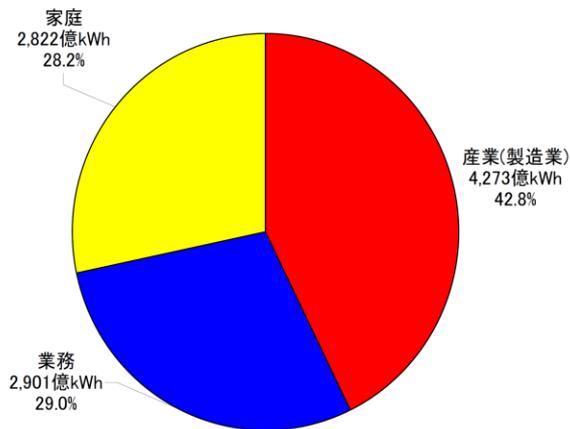
3: まとめと今後の展望



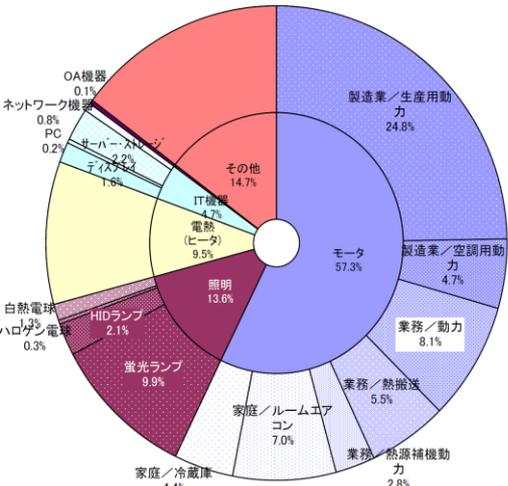
日本の電力消費から見た情報通信への要請

財団法人新機能素子研究
開発協会報告書
(株 富士経済 2009年)
総務省2010情報白書

消費電力量合計: 9.996億kWh



「産業(製造業)+業務+家庭」国内電力消費総量: 9.996億kWh



10¹² kWh/年 (原発出力 4.4x10¹¹ kWh/年)
常時 国民一人当たり1.14kW

うちIT関連 4.7% (4.7x10¹⁰ kWh/年@2005年)
2009～省エネサーバー導入で減少に
しかしクラウド化とTV、ゲームの3D化で元
の木阿弥？

年間総情報流通量 (総務省2010情報白書)

7x10²¹ bit/年 毎年10%の伸び

安全などのためのクラウド化、画像・映像情報3D化でさらに増加??

おおよそのエネルギー使用 ~1-0.1mJ/bit
省エネ超高速・高密度光通信デバイス材料
の必要性

情報通信材料の課題は、今日の物質科学の「共通課題」

1: 如何に「小よく大を制する」か ?

物質の中の協力関係、協働性を利用してこのようなことは実現可能か？

極端な2例: 局所的反応中心が分子全体の形態を支配(機能タンパク)、
構成物全体が個別に協働性を共有(機能固体物性)

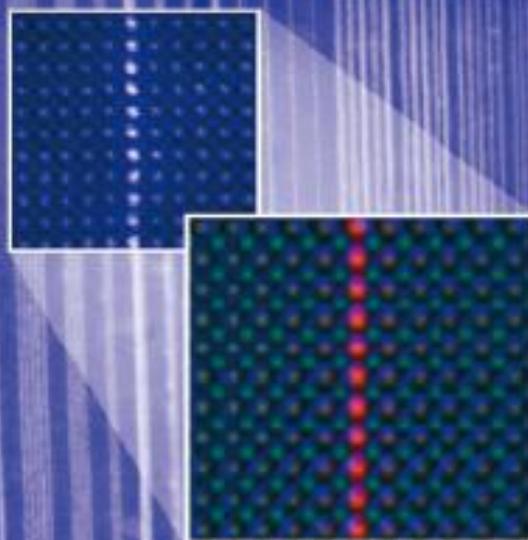
2: どうやって、邪魔な温度効果などとは違った大きな変化を？

温度など日常のノイズでは実現困難な、新しい物質状態

(隠れた非平衡物質相)を見つけて利用

変化はエネルギーの無駄がないように迅速に、。

Directing Matter and Energy: Five Challenges for Science and the Imagination



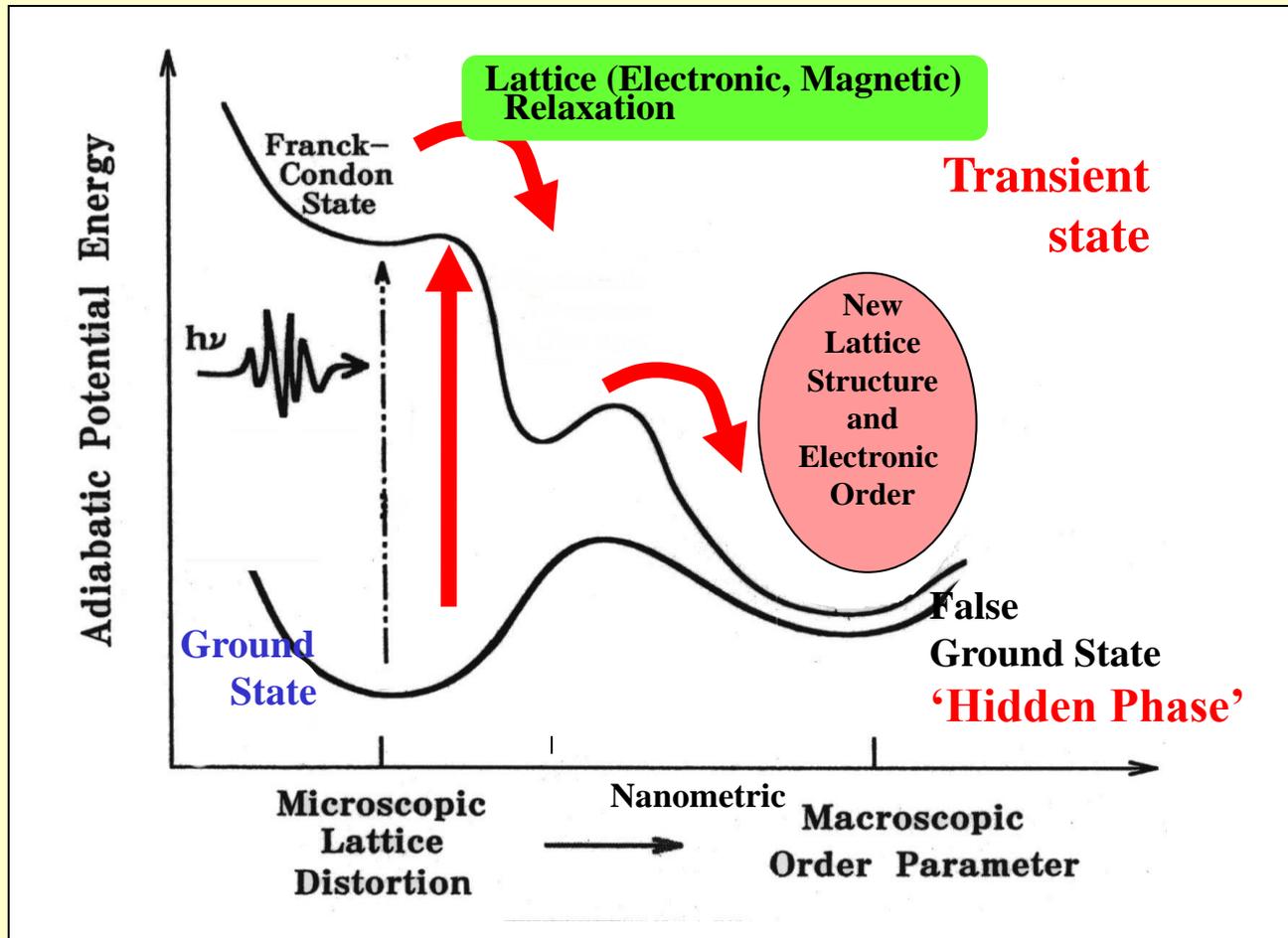
A Report from the Basic Energy Sciences Advisory Committee

- *How do we control material processes at the level of electrons?*
- *How do we design and perfect atom- and energy-efficient synthesis of revolutionary new forms of matter with tailored properties?*
- *How do remarkable properties of matter emerge from complex correlations of the atomic or electronic constituents and how can we control these properties?*
- *How can we master energy and information on the nanoscale to create new technologies with capabilities rivaling those of living things?*
- *How do we characterize and control matter away—especially very far away—from equilibrium?*

世界も共通の認識

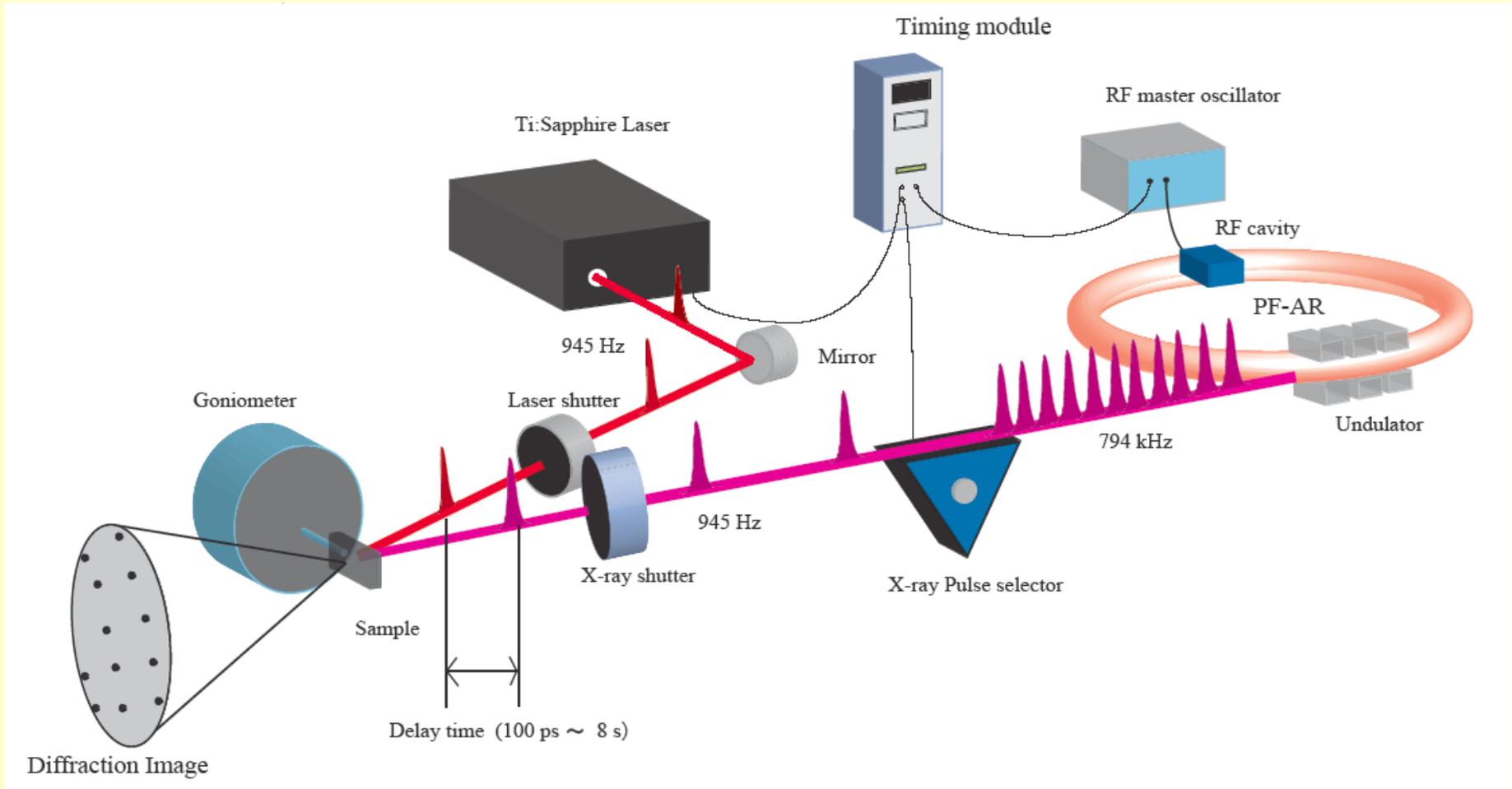
参考: USA DOE 報告書 「動態構造」科学と機能性物質の21世紀物質科学における役割、必要性

隠れた非平衡物質相とは？



「機能する物質」の動態構造観測が必要不可欠
新しい「動的構造科学」のイニシアティブを何処が取れるか？

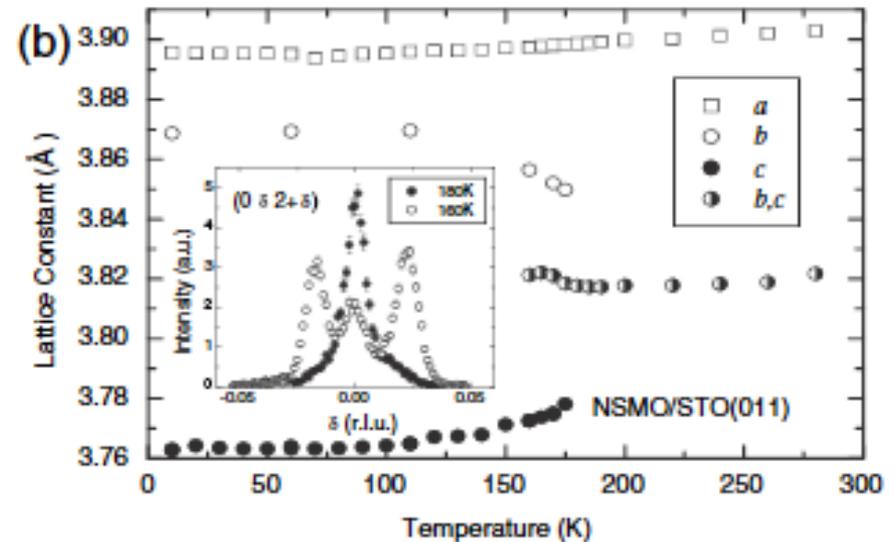
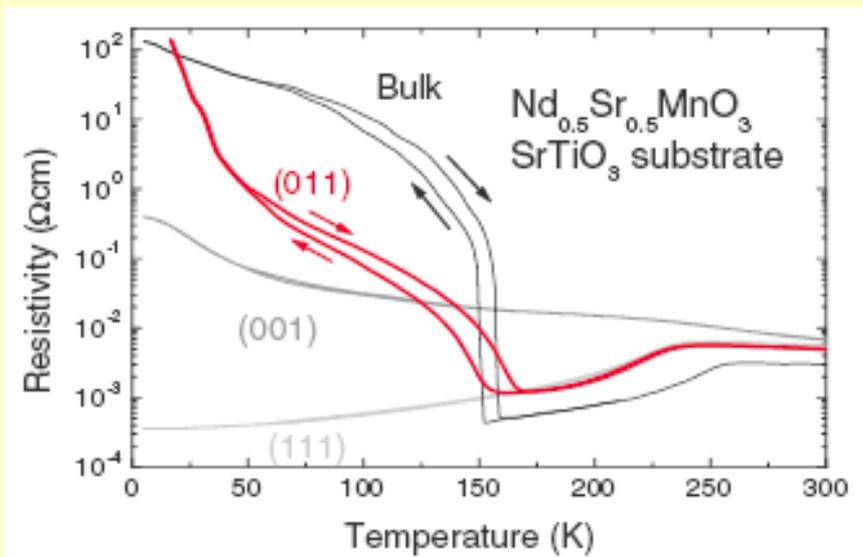
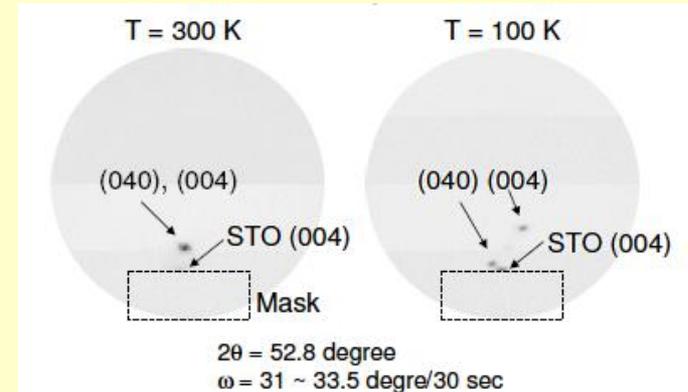
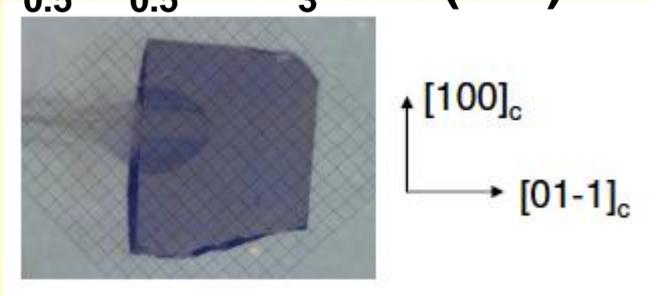
まずはps動的構造観測



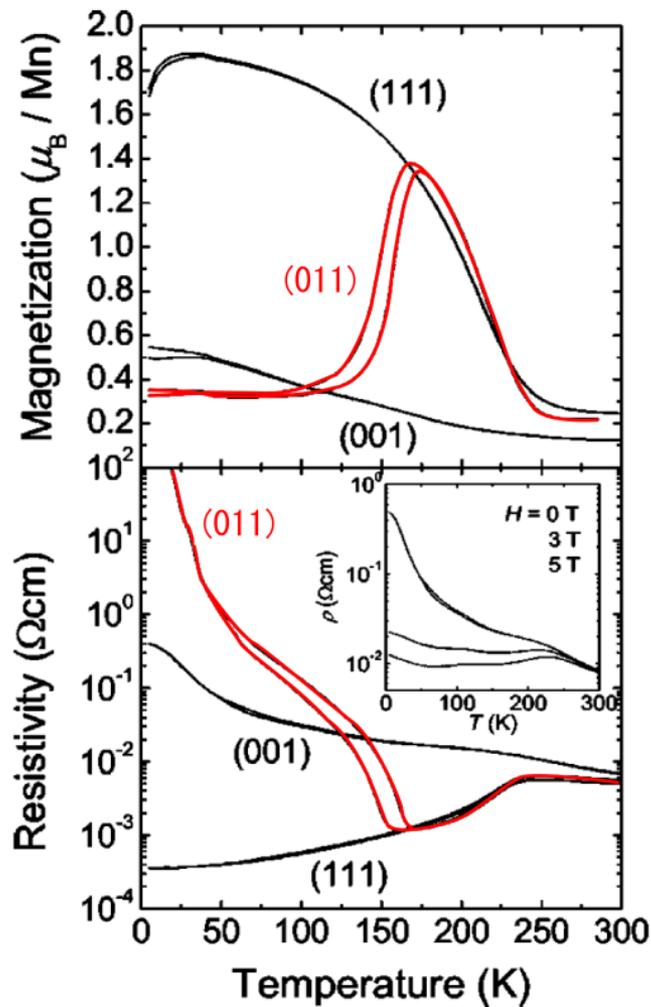
Nozawa et al. (2007) J. Synchrotron Rad. 14, 313.

酸化物(Nd,Sr)MnO₃ 薄膜(80 nm) (金属と絶縁体の相転移、RRAMなどへも応用が)

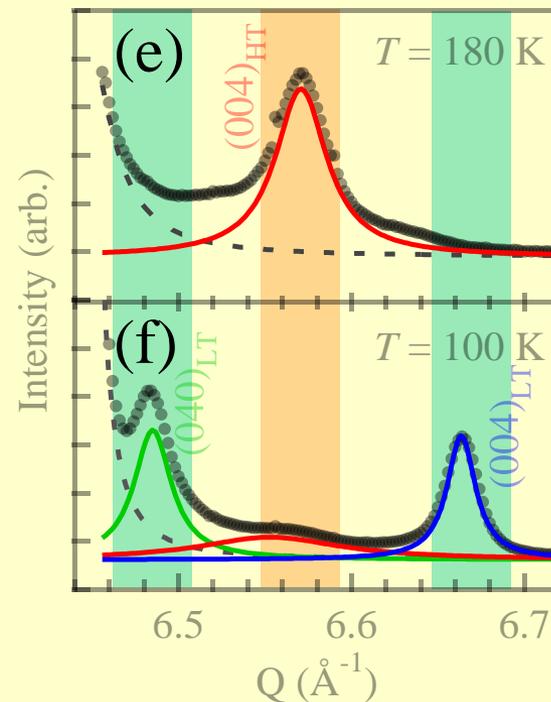
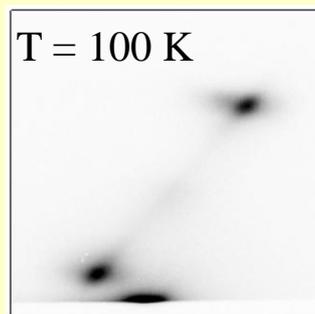
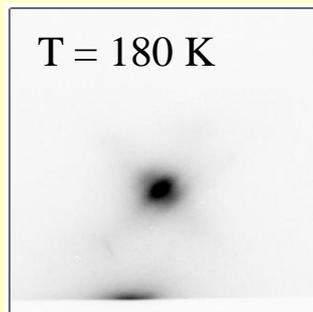
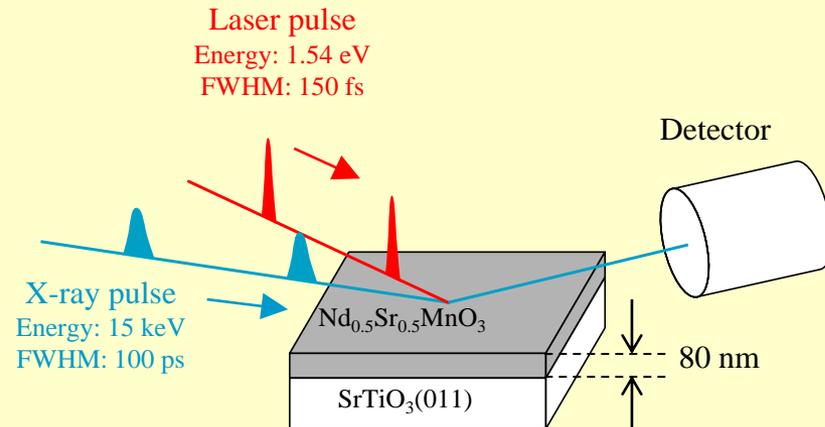
Nd_{0.5}Sr_{0.5}MnO₃/STO(011)



Wakabayashi et al. (2006) PRL, 96, 017202.

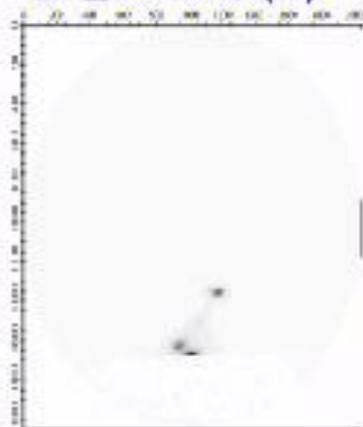


Nakamura et al.
 APL **86** 182504 (2005)

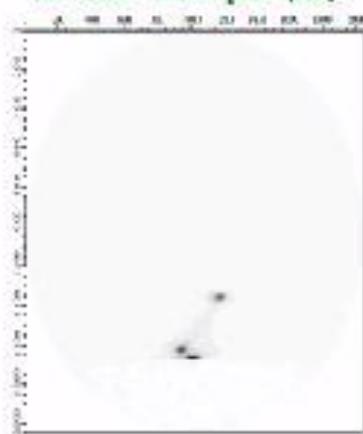


Difference Diffraction Images observed by CCD

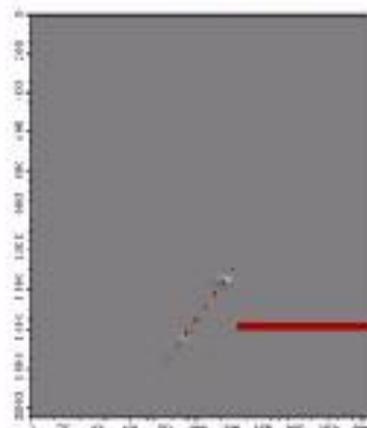
CCD Image observed at $\Delta t = -5$ ns (I1)



CCD Image observed at $\Delta t = 150$ ps (I2)

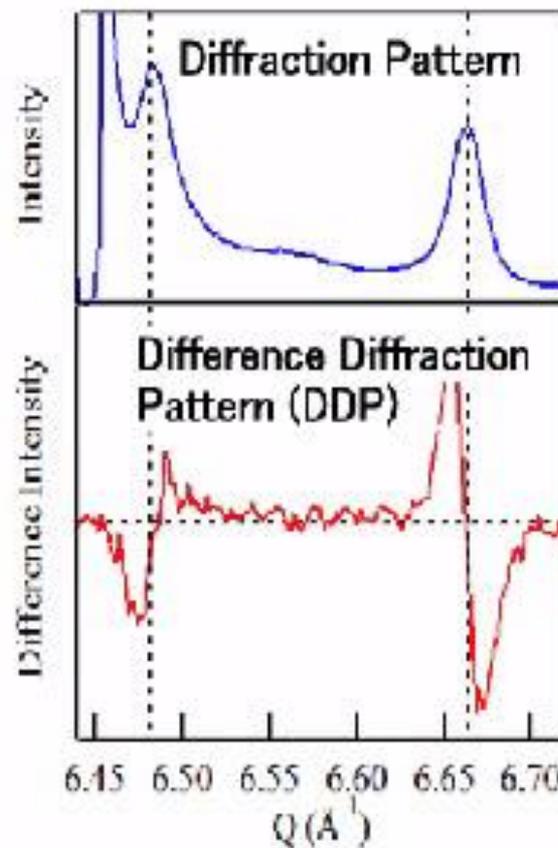


Difference Diffraction Image at $\Delta t = 150$ ps observed by CCD (I2-I1)

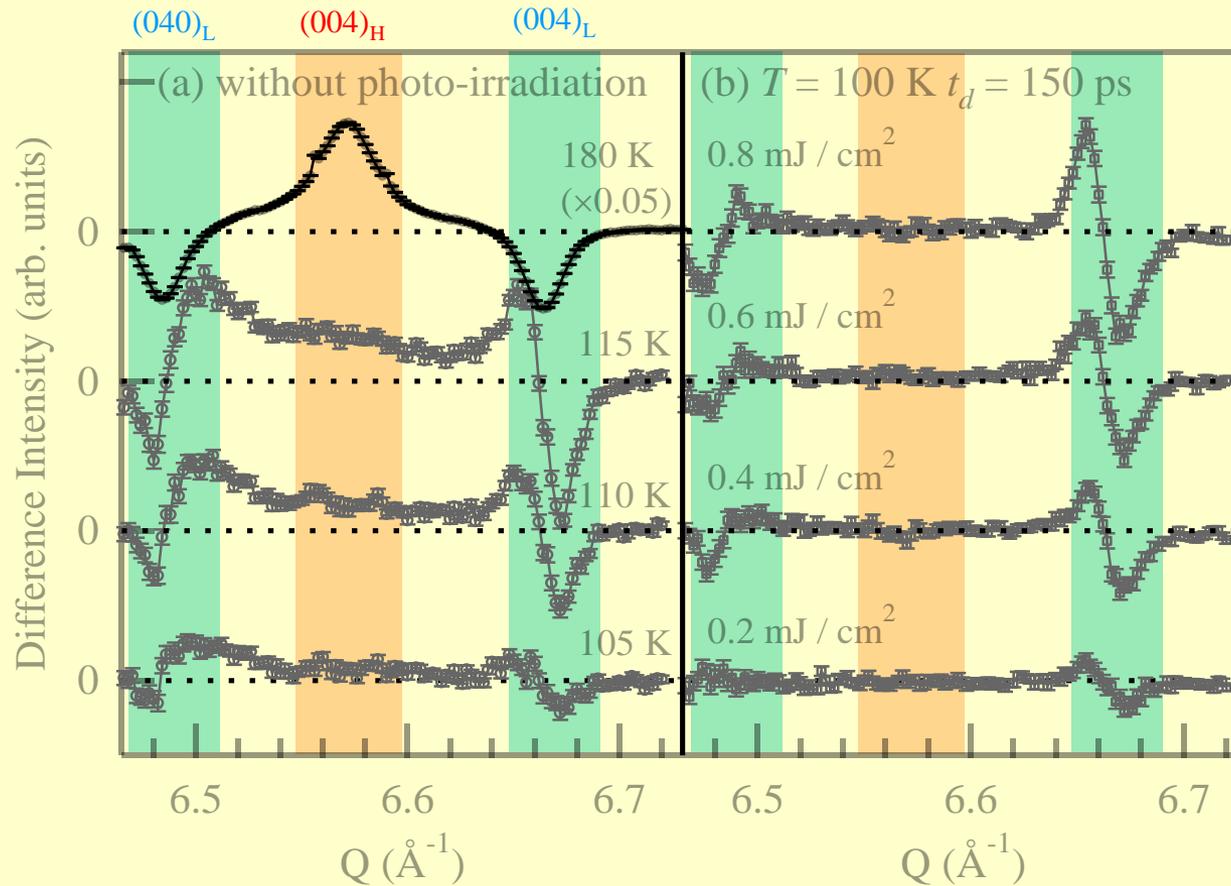


-100 0 +100
Difference Intensity

$\Delta t = 150$ ps



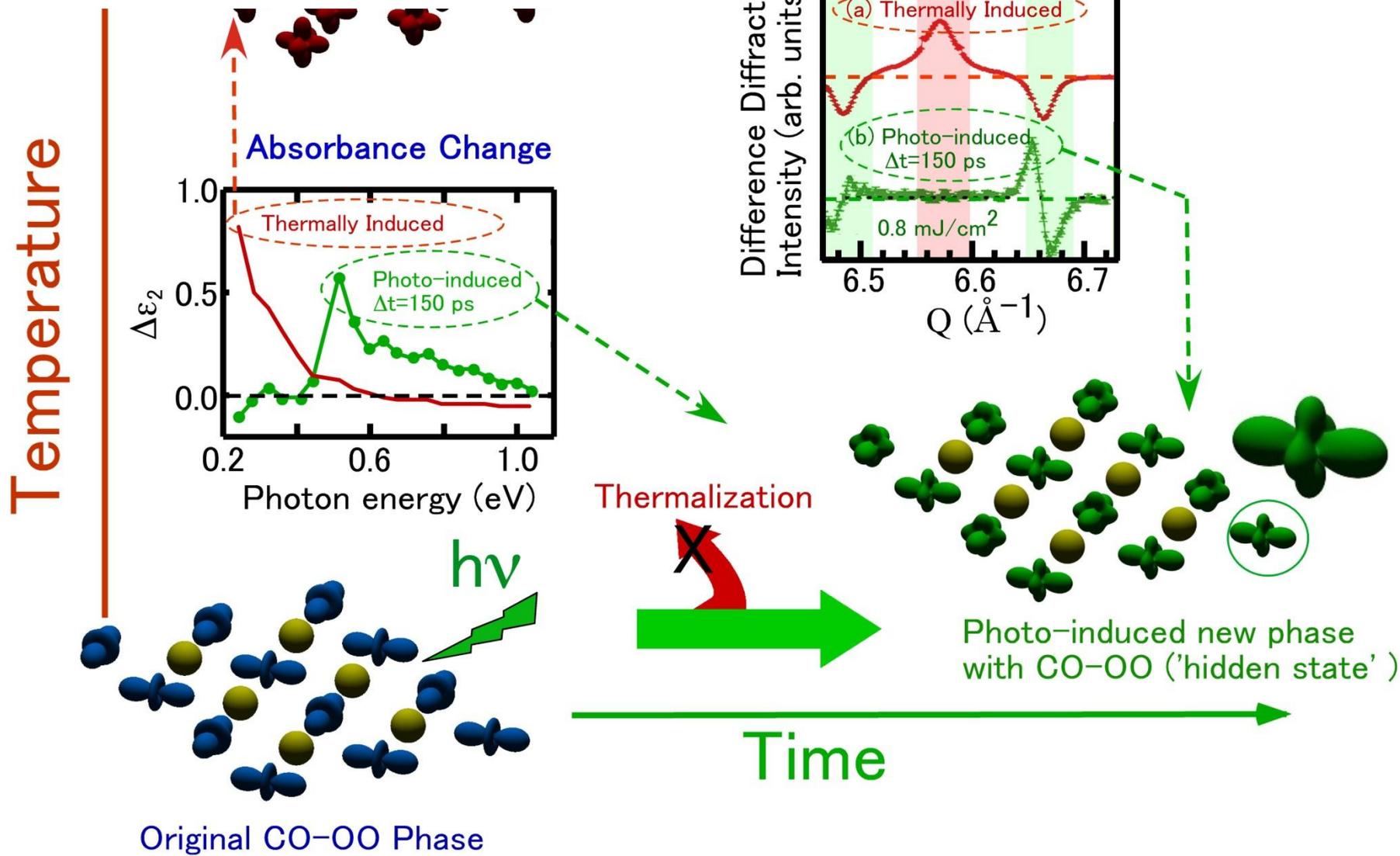
X線で動的構造を調べてみると
Psでできているものは金属ではなく、別の絶縁体が
巨大な光学応答を出していた。



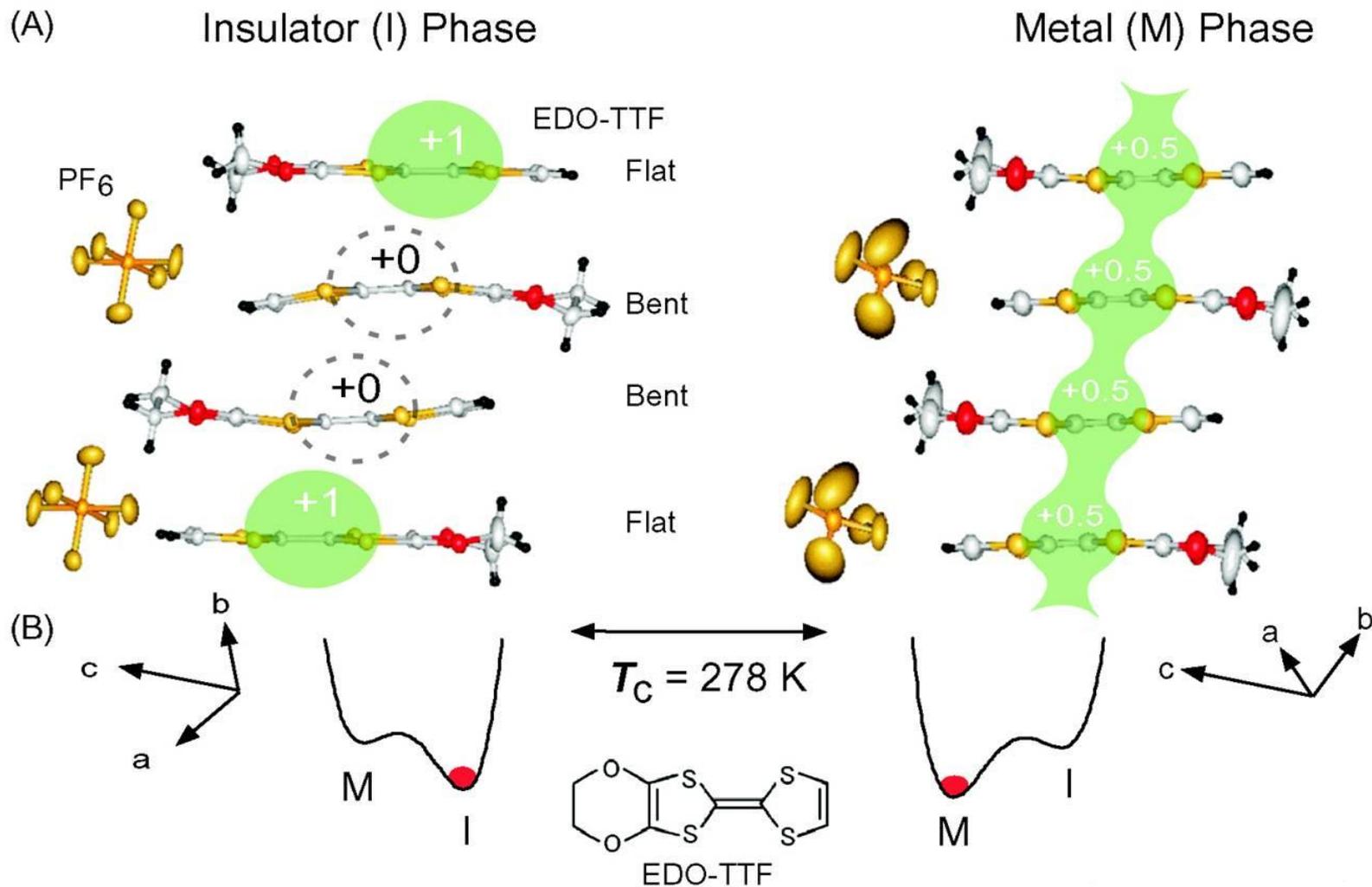
隠れた相の発見、軌道の氷の融解

Transient photoinduced 'hidden' phase in a manganite

Hirohiko Ichikawa¹, Shunsuke Nozawa^{1,2}, Tokushi Sato^{1,2,3}, Ayana Tomita^{1,3}, Kouhei Ichiyanagi^{1†}, Matthieu Chollet^{3†}, Laurent Guerin^{1†}, Nicky Dean⁴, Andrea Cavalleri^{4,5}, Shin-ichi Adachi^{1,2}, Taka-hisa Arima⁶, Hiroshi Sawa^{2†}, Yasushi Ogimoto⁷, Masao Nakamura^{7†}, Ryo Tamaki⁷, Kenjiro Miyano⁷ and Shin-ya Koshihara^{1,3*}



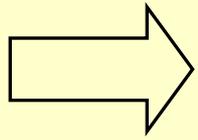
有機物でも同様に：電荷の氷のfs融解 $(EDO)_2PF_6$



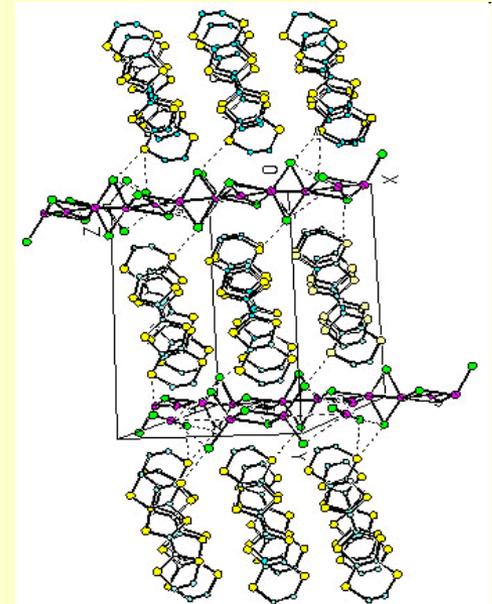
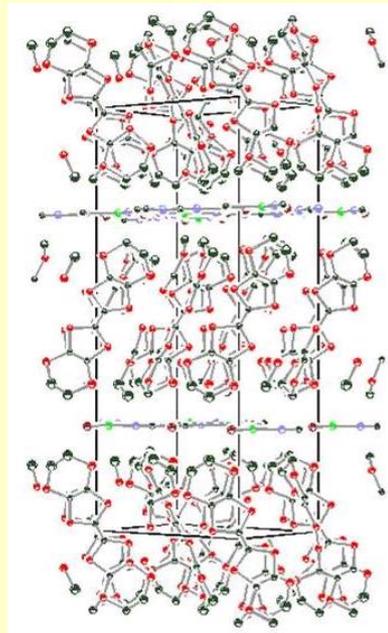
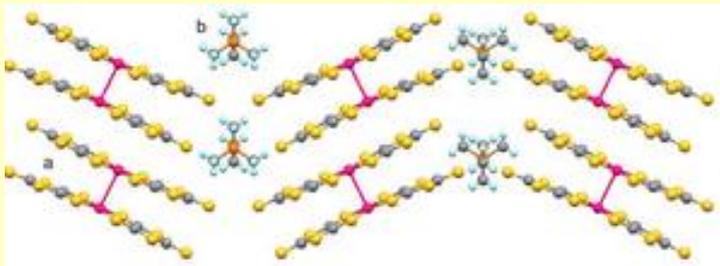
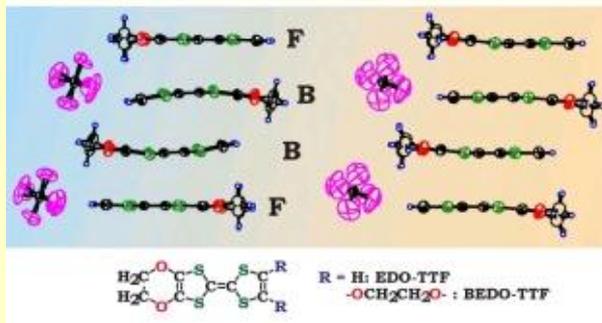
M.Chollet et.al., Science 307 (2005) 86.

なぜ有機結晶が超高速光応答物質に？

強相関係としての強い特色をもっている



光相スイッチ物質として宝の山でも構造が柔らかく、変化が遅いのでは？

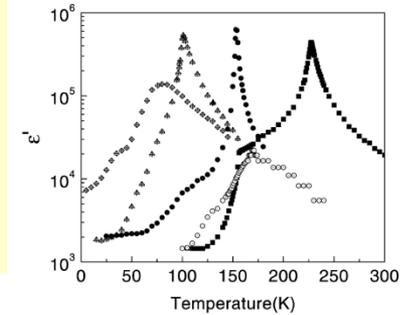


電荷の局在化: 磁性と伝導性

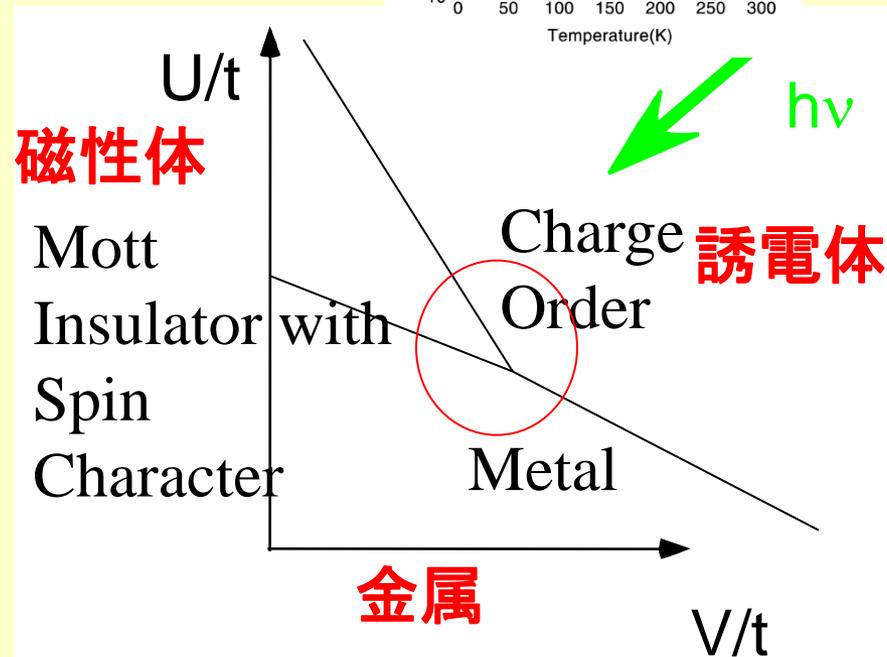
電荷と格子: 誘電性と伝導性



KABUKI “Mawari-butai”

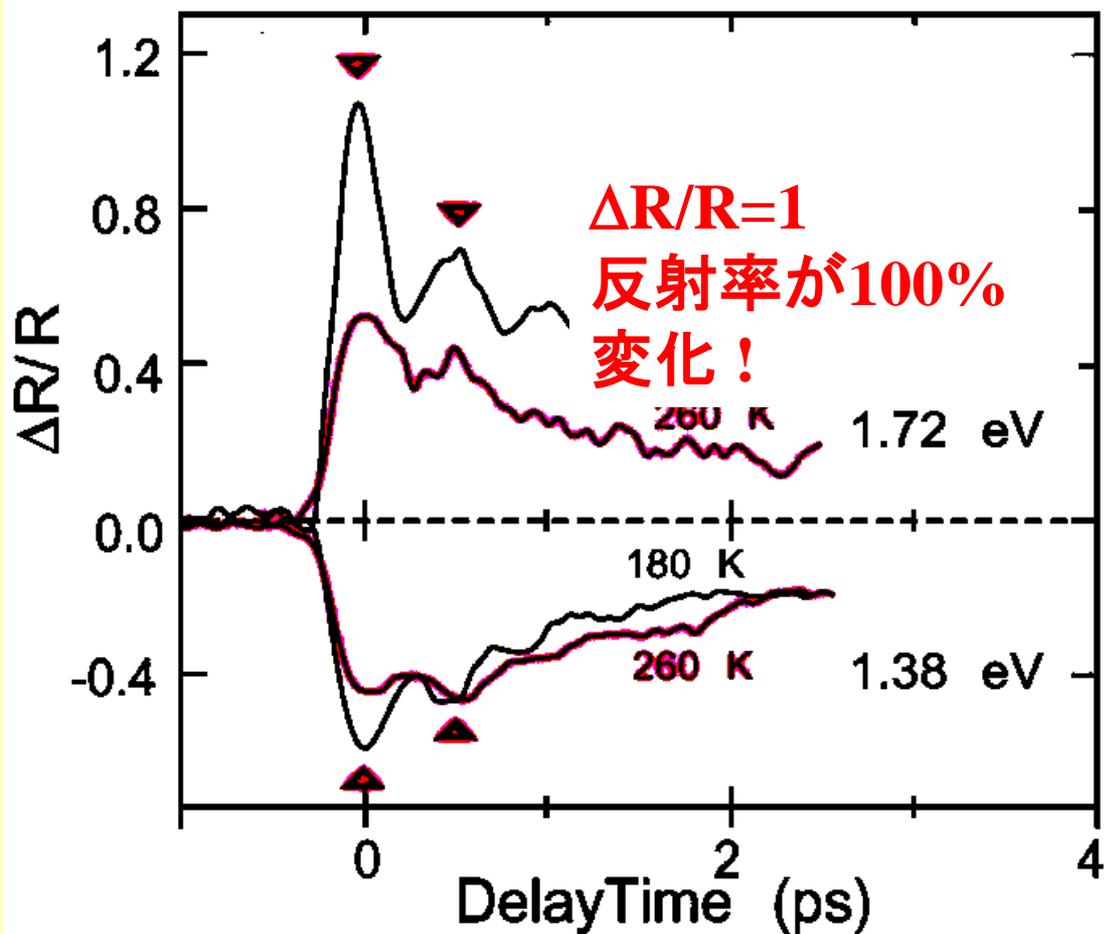


S.Brazovskii et.al.,
Syn.Met. 137
(2003) 1331

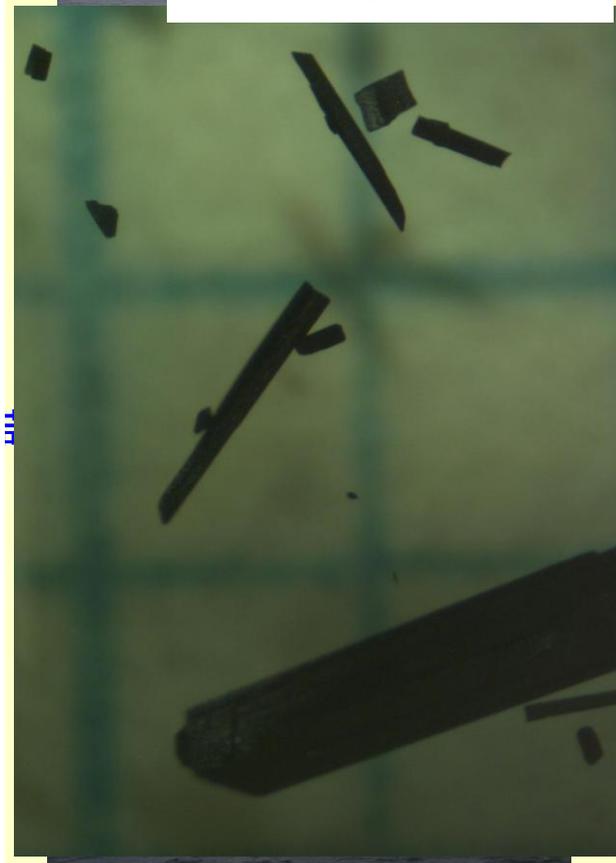


Important role of the competition among V, U and W.
H.Seo and H.Fukuyama, J.Phys. Soc. Jpn. 66 (1997) 1249.

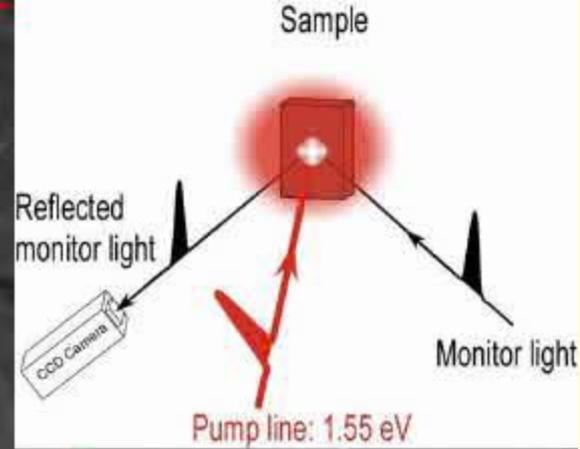
電荷秩序のレーザー照射による超高速融解:
 $(EDO)_2PF_6$



EDO Crystals



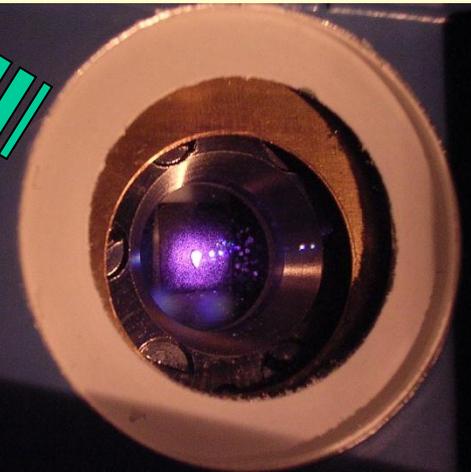
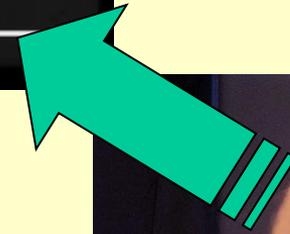
電子の氷の超高速融解のps映画



Monitor light

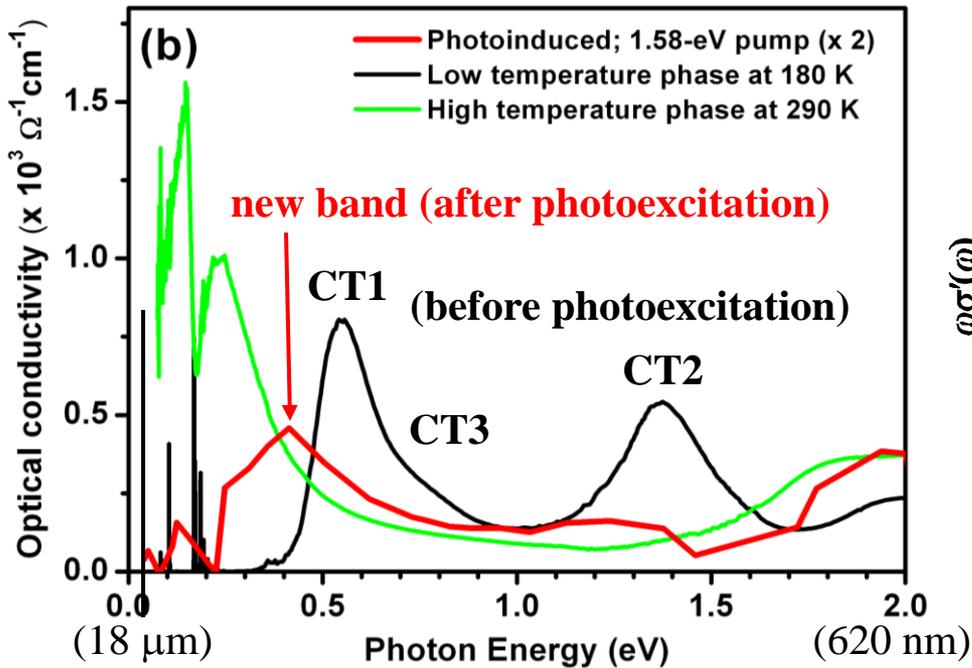
Crystal surface

300 μm

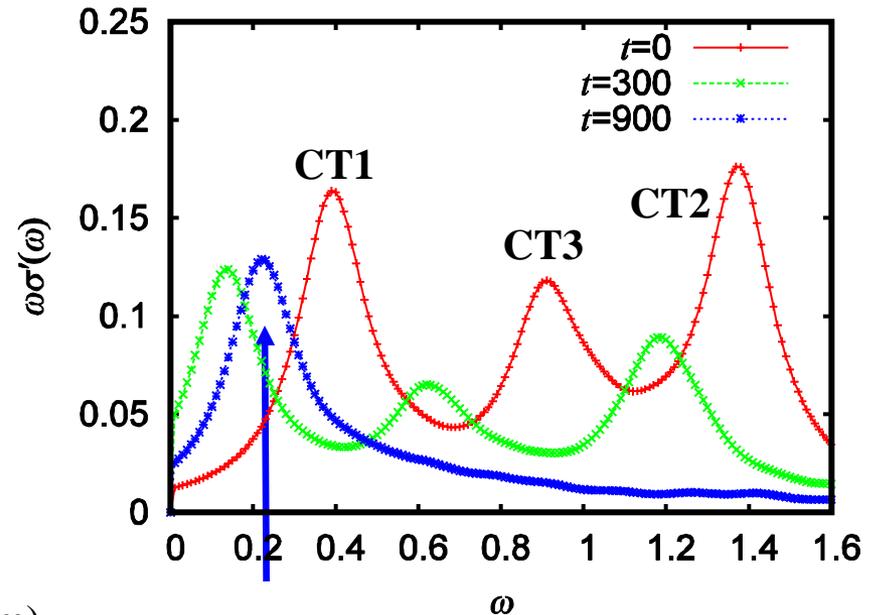


光励起から 100 fs 後の光スペクトル (隠れた物質相:新しい電荷秩序 の発見)

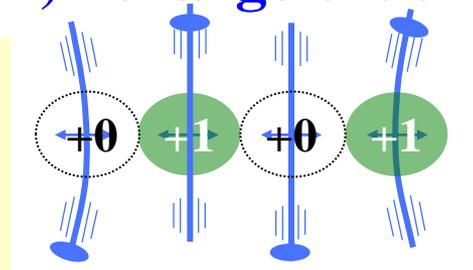
光吸収



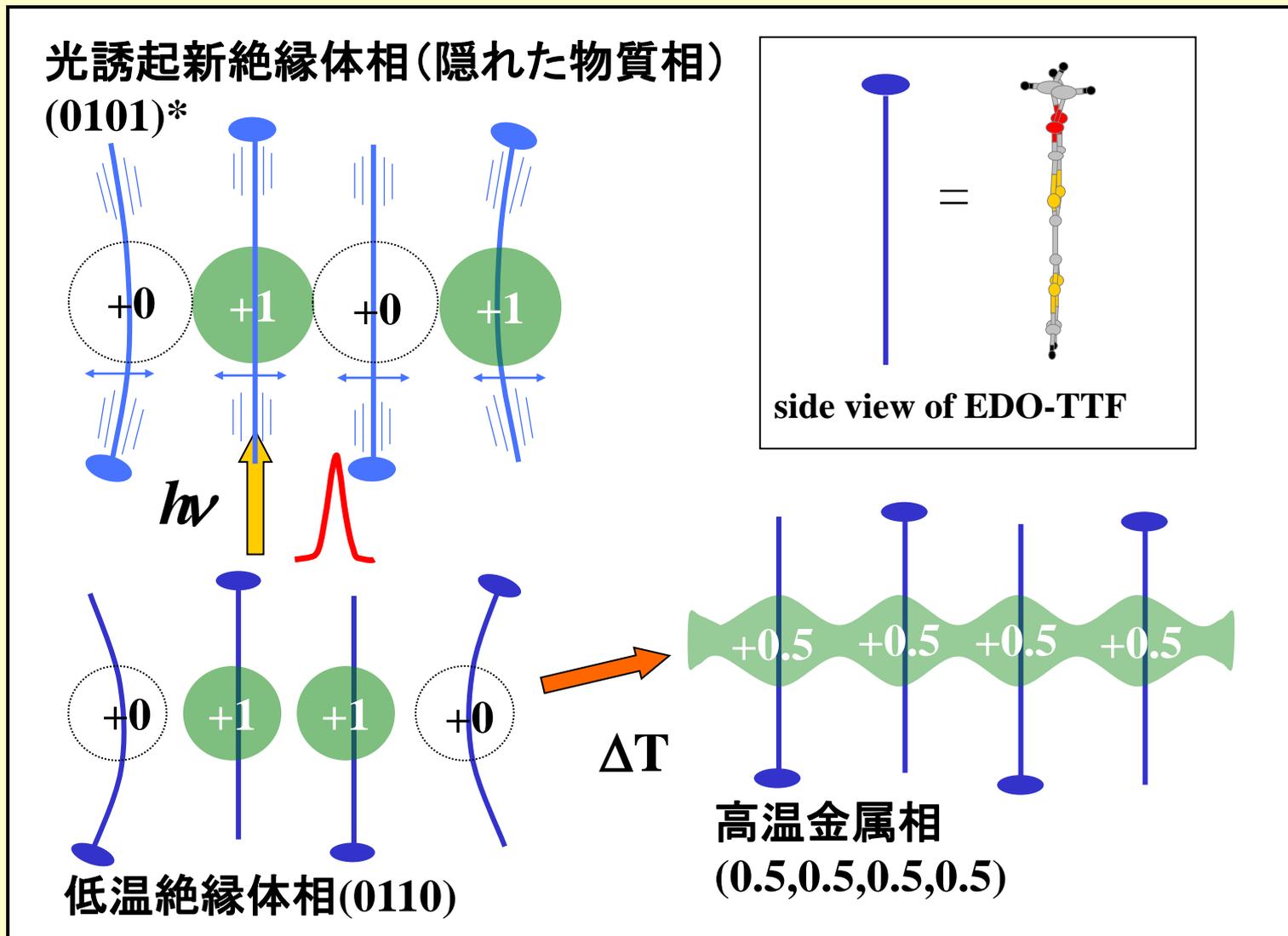
理論計算



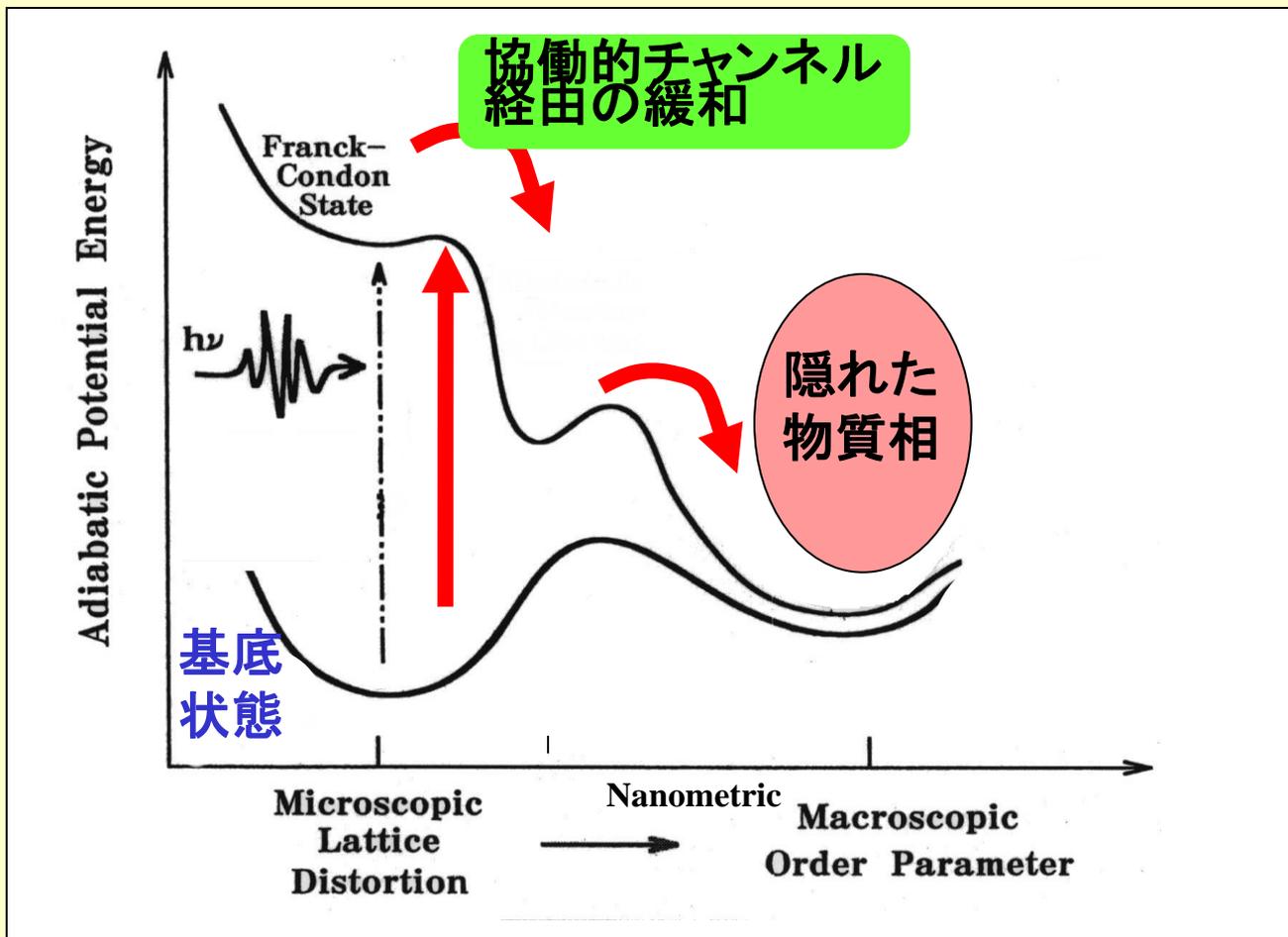
(0101)* charge order state



光で生じた隠れた物質相と温度効果の違い



やはりここでもfsの構造がカギ



次はこの緩和過程をなんとか制御できないか？

動的構造解析がもたらす物質設計への衝撃

Laser shock-induced lattice deformation of CdS single crystal
(TR single-shot Laue diffraction: $\tau \sim 1\text{ns} \sim 10\text{ns}$)

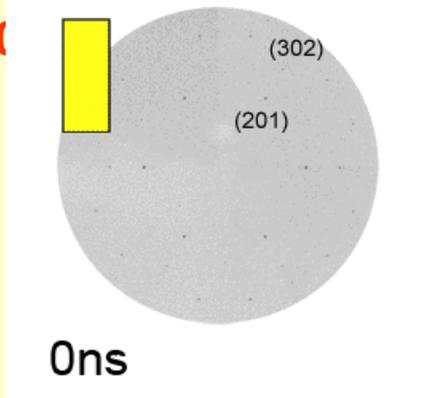
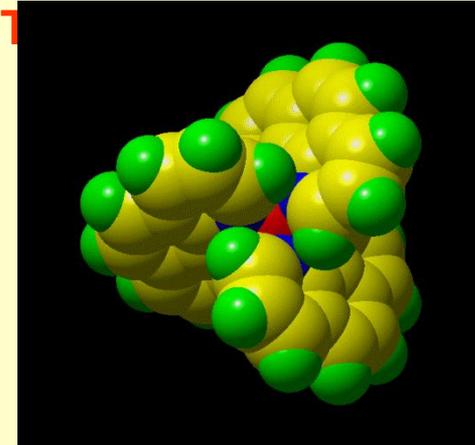
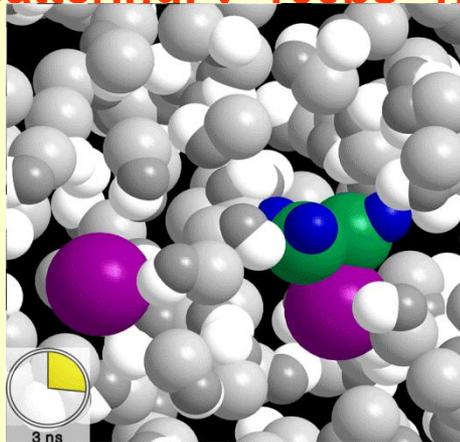


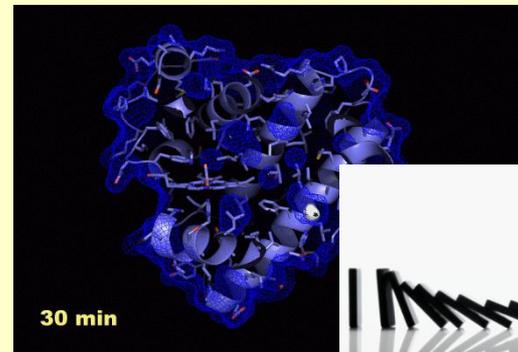
Photo-induced spin-crossover transition of metal complex in solution ($\tau \sim 10\text{ps} \sim 1\text{ns}$)



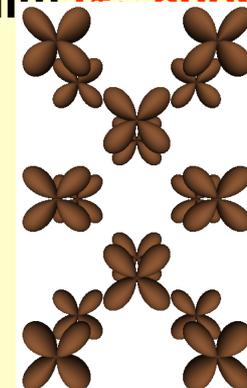
Photochemical reaction in liquid (TR-liquid scattering: $\tau \sim 100\text{ps} \sim 1\mu\text{s}$)



Ligand migration dynamics in protein crystal ($\tau \sim 800\text{ min}$)

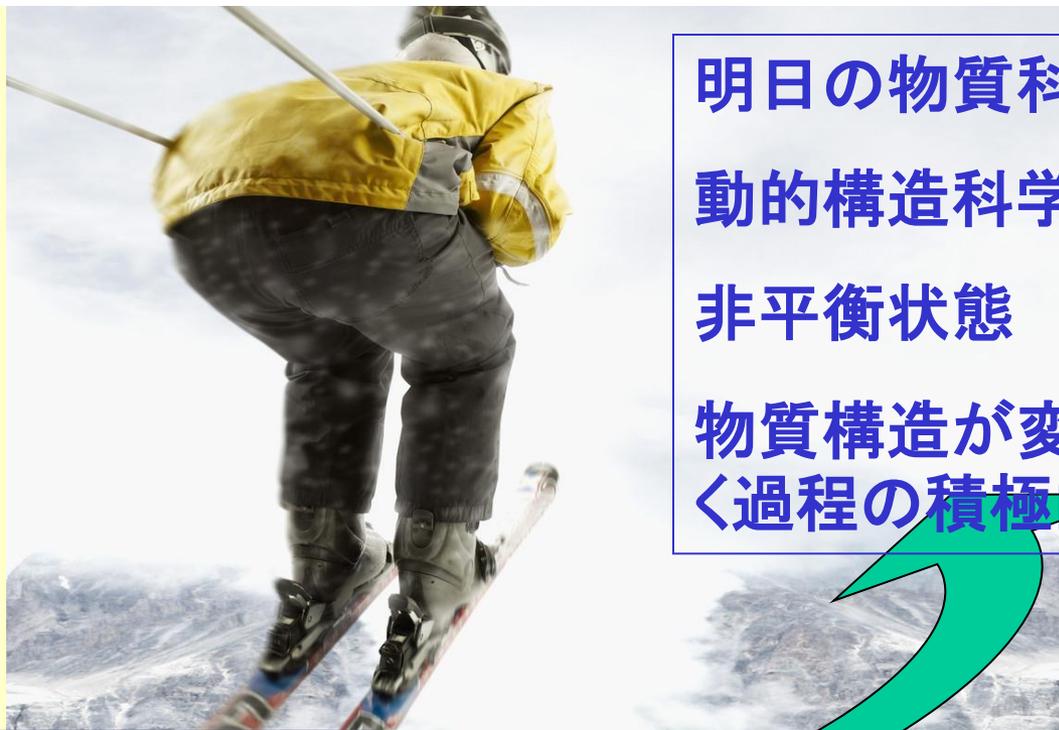


Insulator-to-metal phase transition in perovskite manganite thin film ($\tau \sim 50\text{ps} \sim 2\text{ns}$)



晴れ渡った青空は広がるか??

ご清聴ありがとうございました



明日の物質科学:

動的構造科学

非平衡状態

物質構造が変化してゆく過程の積極的利用

現在の物質科学:

静的構造科学

パラダイムシフト

こういったものは常に

霧の中のスキー(立ち木に衝突?)