有馬塾110806

超電導と
自然エネルギー地球革命

北澤 宏一

（独）科学技術振興機構

超伝導の超能力
（他に真似のできない３つの能力）

☆電気抵抗が完全にゼロ・永久電流が流れる

超遠距離送電、電源の要らない強力磁石

まさつの無い不思議な世界

☆マイスナー効果（磁力線を排除）

ピン止め効果（磁力線を捕捉）

安定磁気浮上、無摩擦回転

磁石との不思議な世界

☆ジョセフソン効果

超高速・超低消費電力トランジスタ

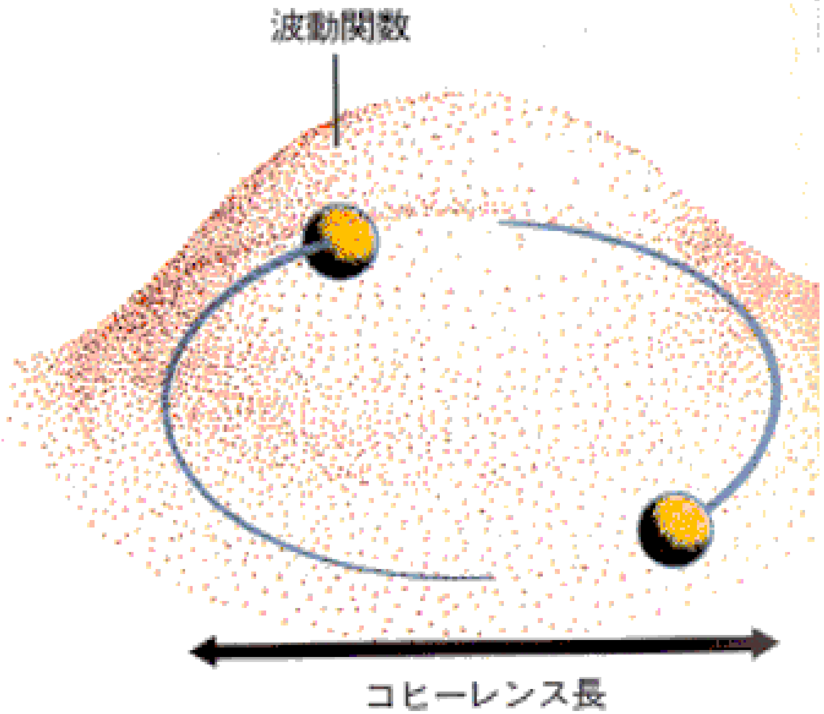
超高感度磁気・光センサー

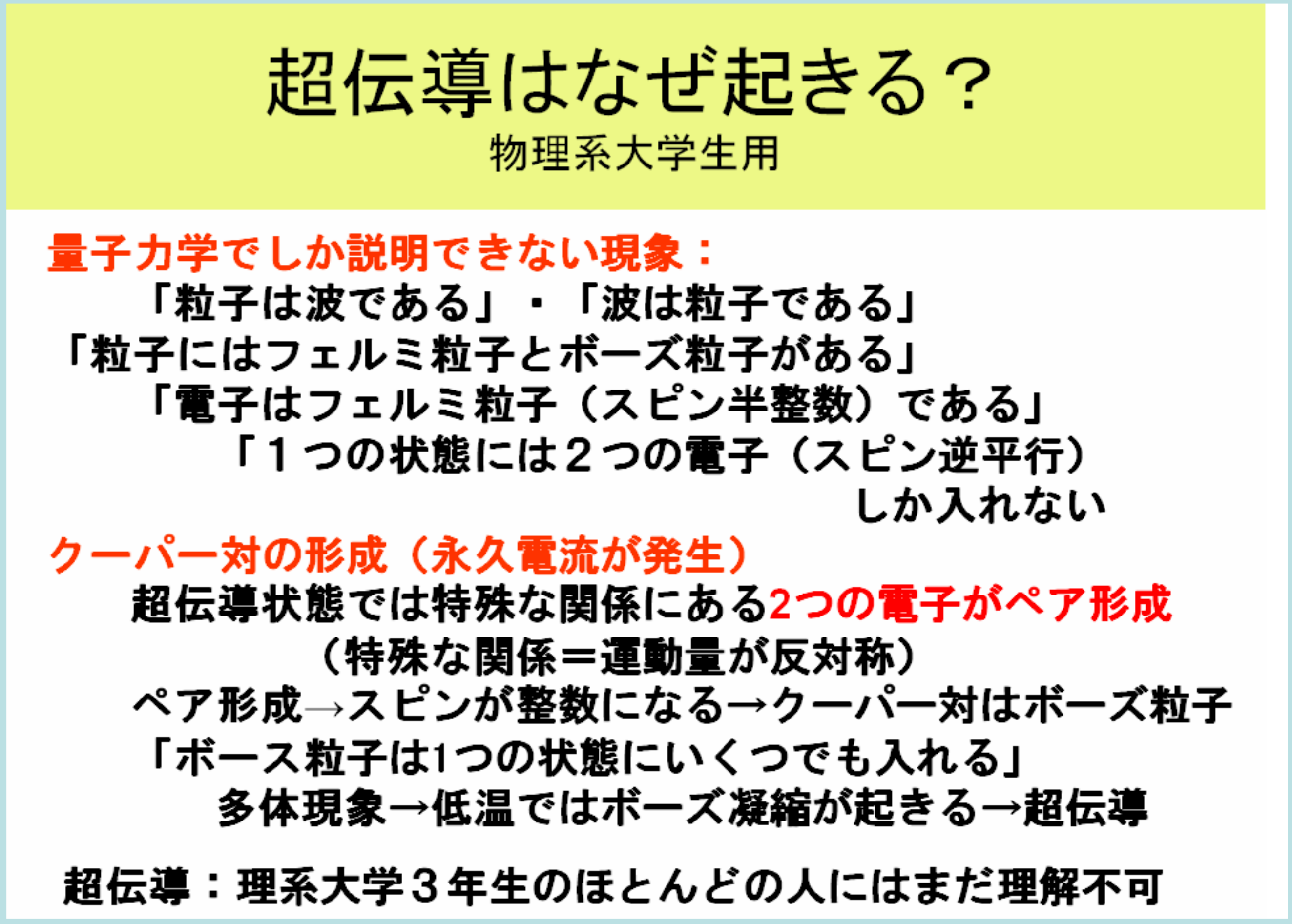
超伝導はなぜ起きる？

電子2個がクーパー対形成：運動量交換

フェルミ粒子→ボーズ粒子

全部の電子一様：動き始めたら止まれない





超伝導はなぜ起きる？

物理系大学生用

量子力学でしか説明できない現象：

「粒子は波である」・「波は粒子である」

「粒子にはフェルミ粒子とボーズ粒子がある」

「電子はフェルミ粒子（スピン半整数）である」

「１つの状態には２つの電子（スピン逆平行）
しか入れない

クーパー対の形成（永久電流が発生）

超伝導状態では特殊な関係にある**2つの電子がペア形成**

（特殊な関係＝運動量が反対称）

ペア形成→スピンが整数になる→クーパー対はボーズ粒子

「ボース粒子は1つの状態にいくつでも入れる」

多体現象→低温ではボーズ凝縮が起きる→超伝導

超伝導：理系大学３年生のほとんどの人にはまだ理解不可

大学では「量子力学」が学べる

原子や電子の振る舞い：古典力学ではまったく説明不可

古典力学の仮説：常識と合う

量子力学の仮説：常識をかなぐり捨てる必要　自然感変わる

超伝導：量子力学＋α　（α＝多体効果）→難しい！

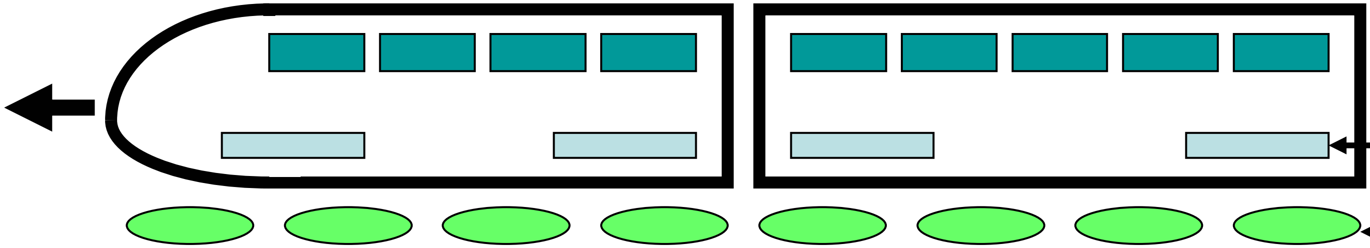
メカニズム：高温超伝導は現在もcontroversial！

山梨超電導リニアモーターカー実験線

Magnetically Levitated（超伝導磁気浮上）

リニアモーターカーの浮上と走行の原理

浮上

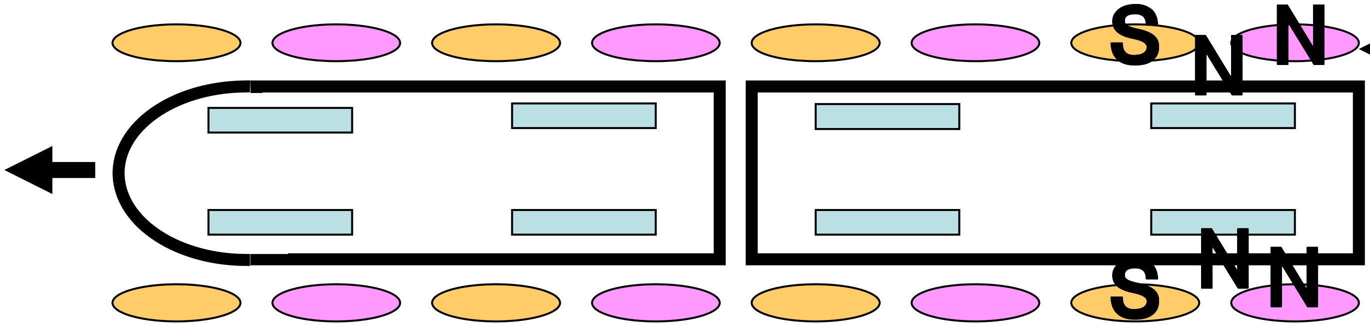


超伝導
永久電流
磁石

地上浮上
案内コイル

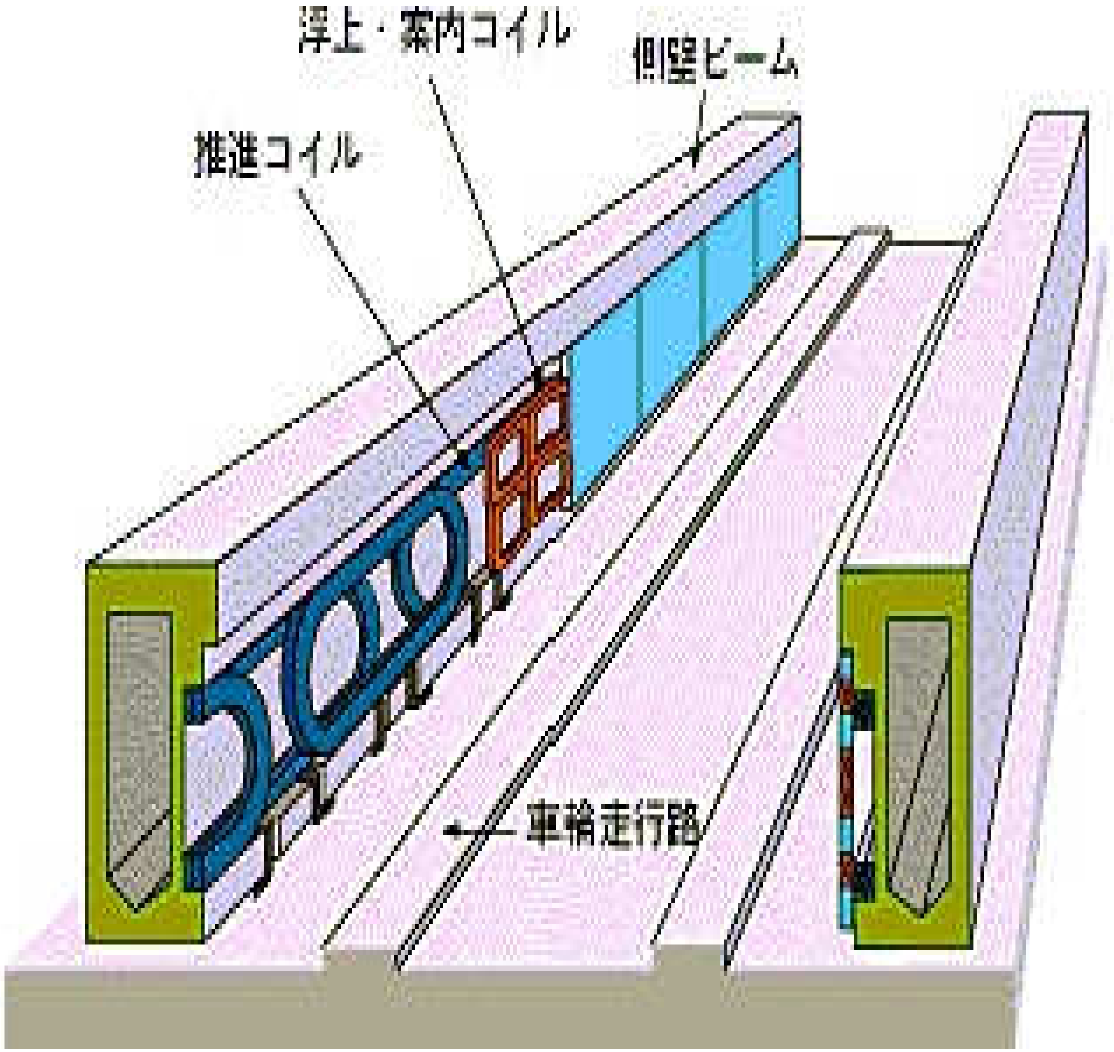
車載磁石が地上コイルに近づくにつれ反発
誘導電流→近づくと増大、遠ざかると減少

推進

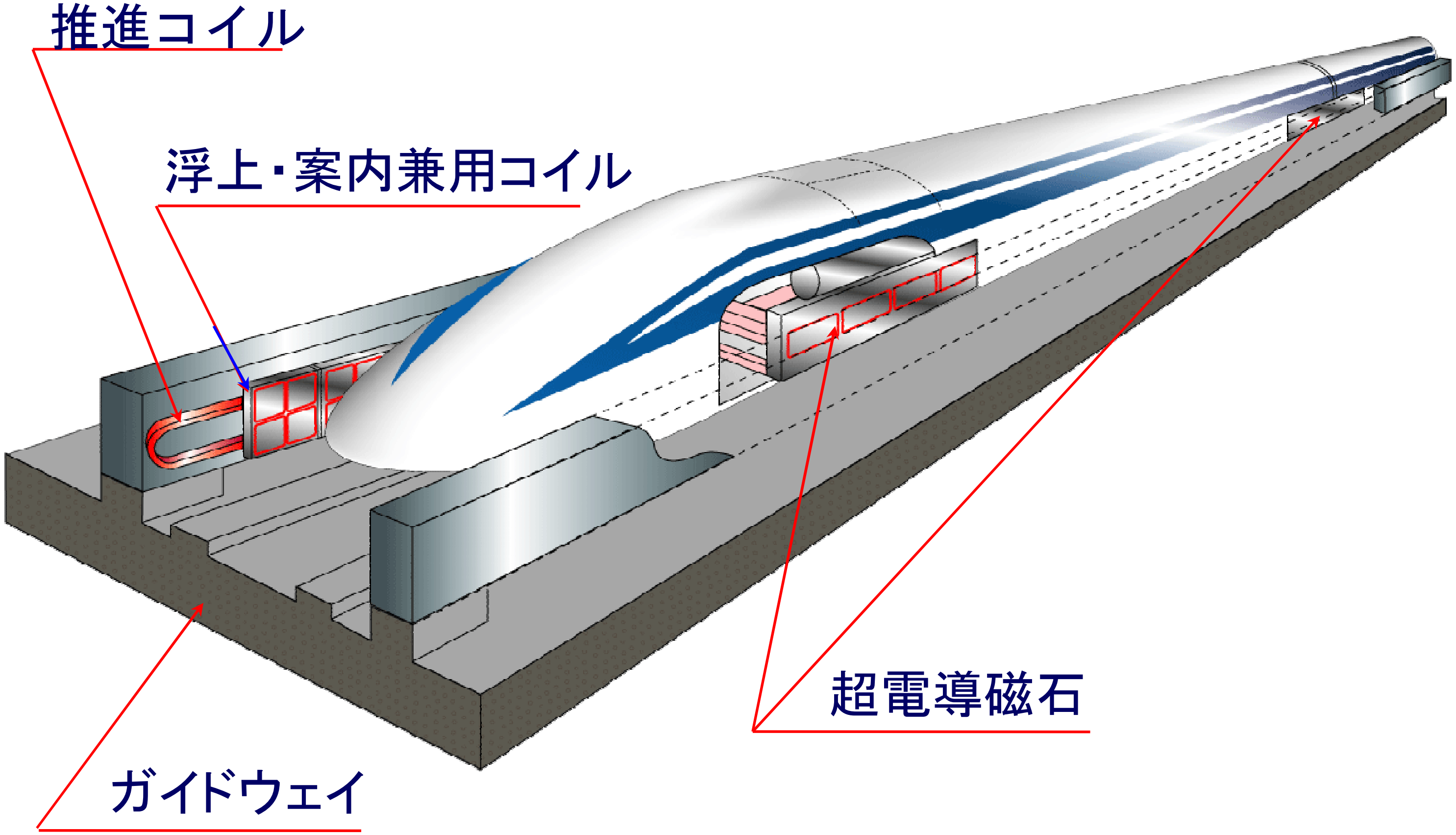


地上
推進
コイル

車載磁石を前に引くように次々とコイルの極性
を外部から切り替えてやる



山梨リニア（マグレブ）の地上コイル
（推進用と浮上・案内用の２種類）



超電導磁気浮上式鉄道の基本概念

超伝導リニアの長所

☆時速2000kmも可能

　　地上リニア：500km/h（減圧下2000km/h）

　　ジェット機：1000km/h

☆廃ガスを出さない

☆自動車より静か

☆省エネルギー：国内航空機の1/3

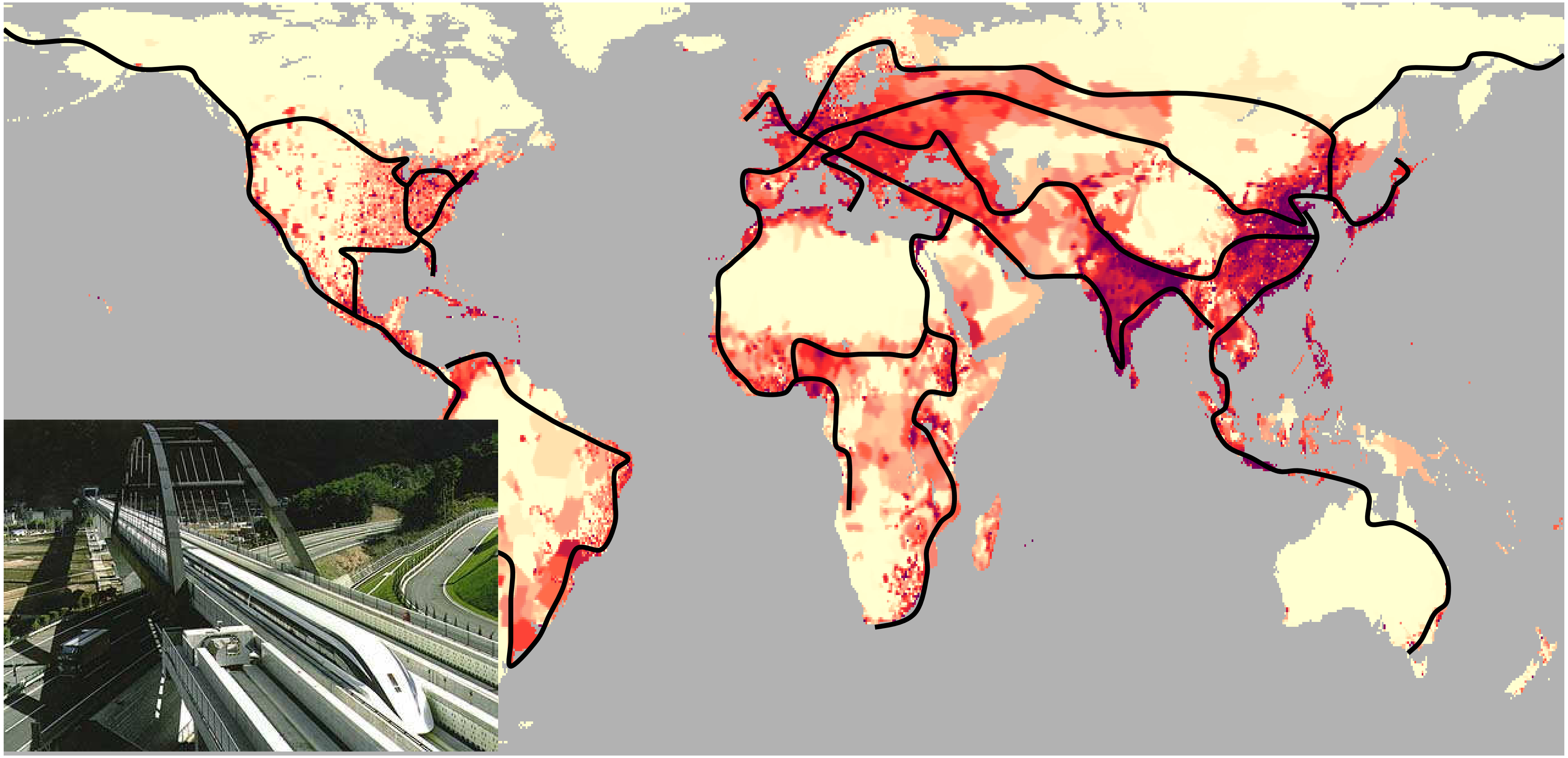
☆安全性が鉄道よりさらに高い：

　　体積支持力（1点接触でない）

☆メンテナンスが容易：砂、地震、雪に強い

　　浮上走行（10cm）

MAGLEV TRAILS PLAUSIBLE



and Population Density Distribution

K.Kitazawa: Moscow Int. Conf. 2000, Moscow State Univ.

Global warming: 太陽光と地表温度

太陽エネルギー
有効利用率
:1万分の1

$E \sim \alpha T^4$

バランス

赤外線を宇宙に
向けて輻射
宇宙: 2.7K
→地球冷却

←6000K

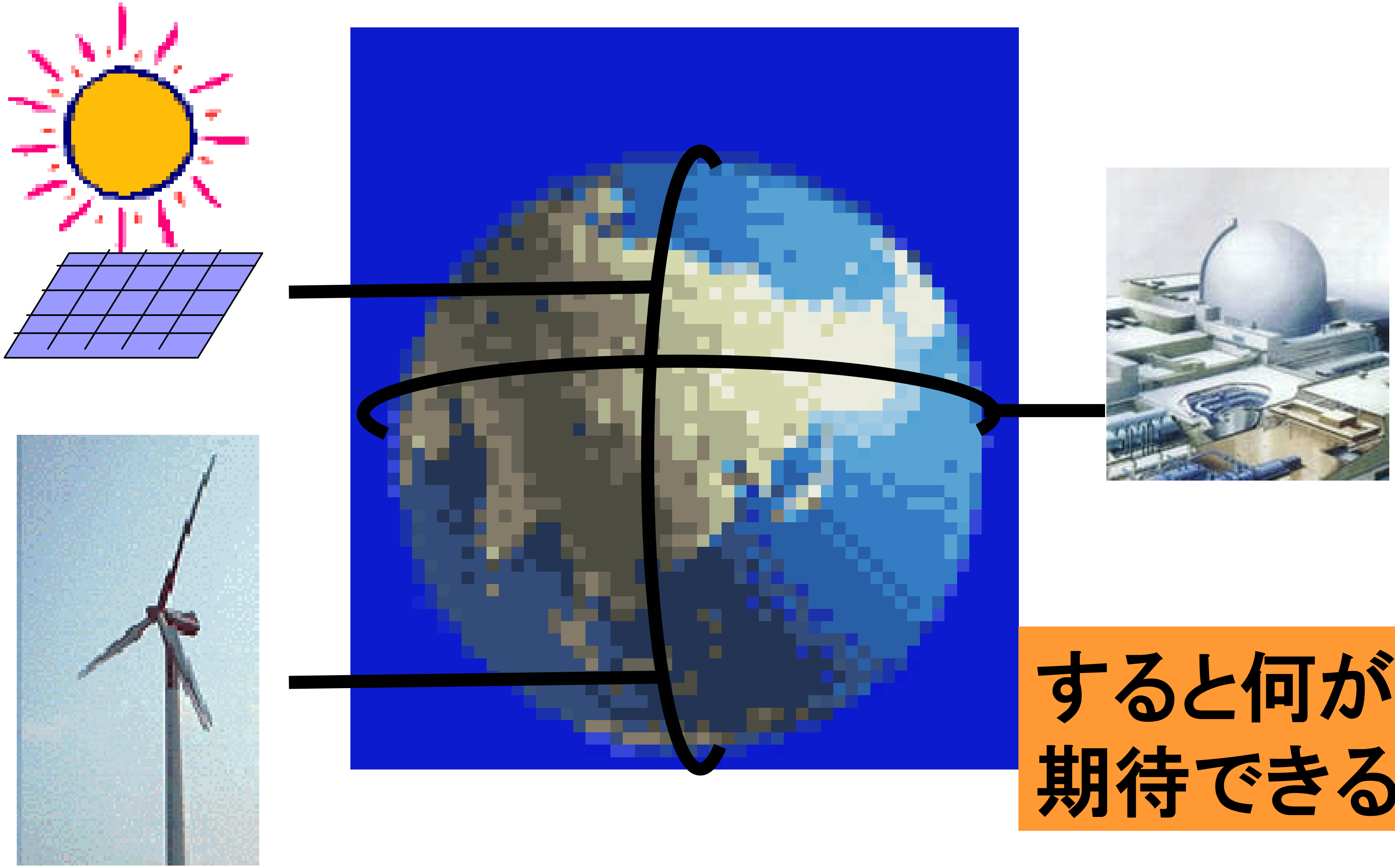
到達可視光　E
地球を暖める

〜300K
地表温度T

CO_2濃度増大
→α減少
↑
可視光に透明
赤外線は反射←CO_2分子の振動

地球内部からの熱:
太陽光エネの
6000分の1のみ

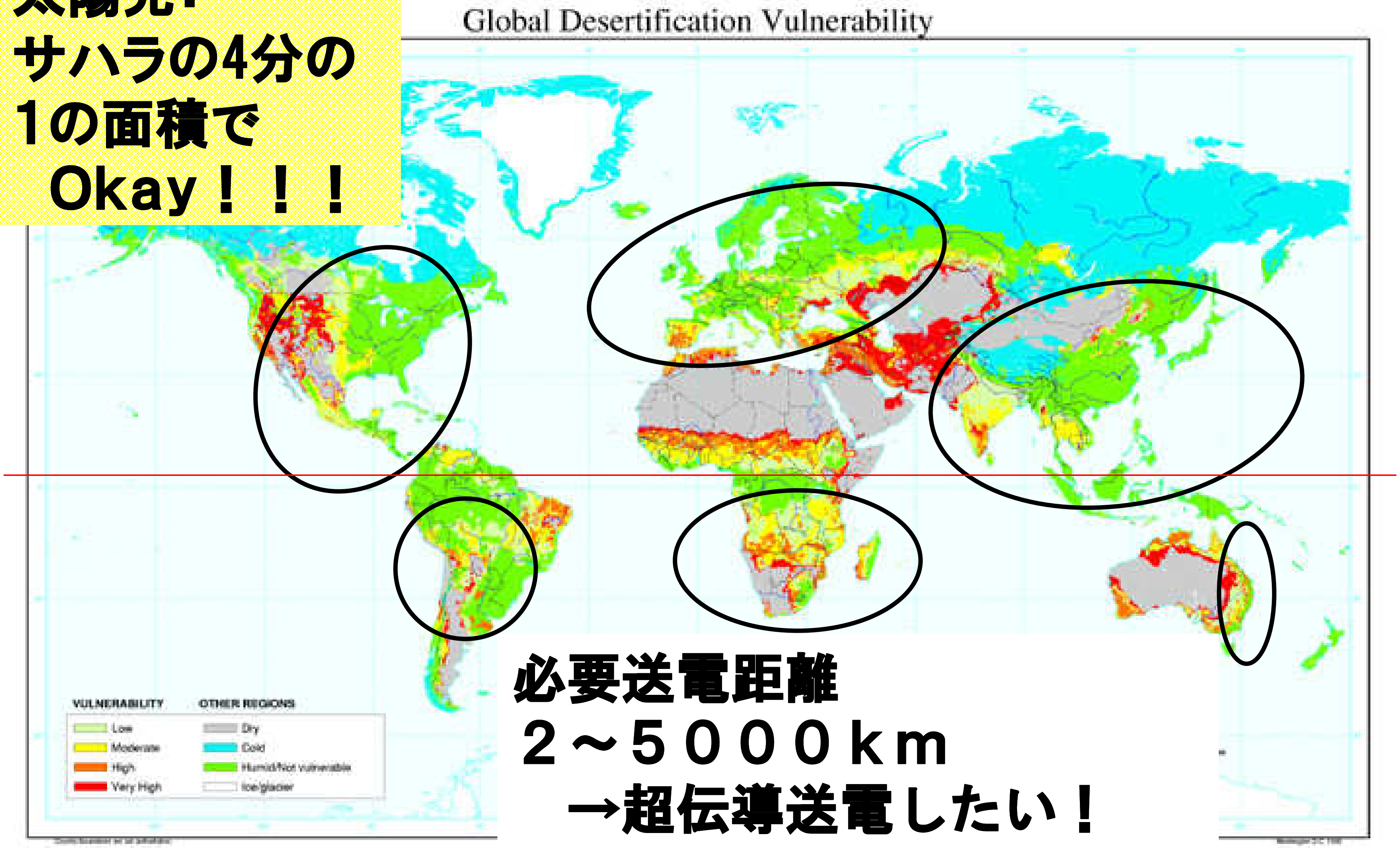
超伝導グローバル電力ネットワーク時代
“私の夢”



すると何が
期待できる？

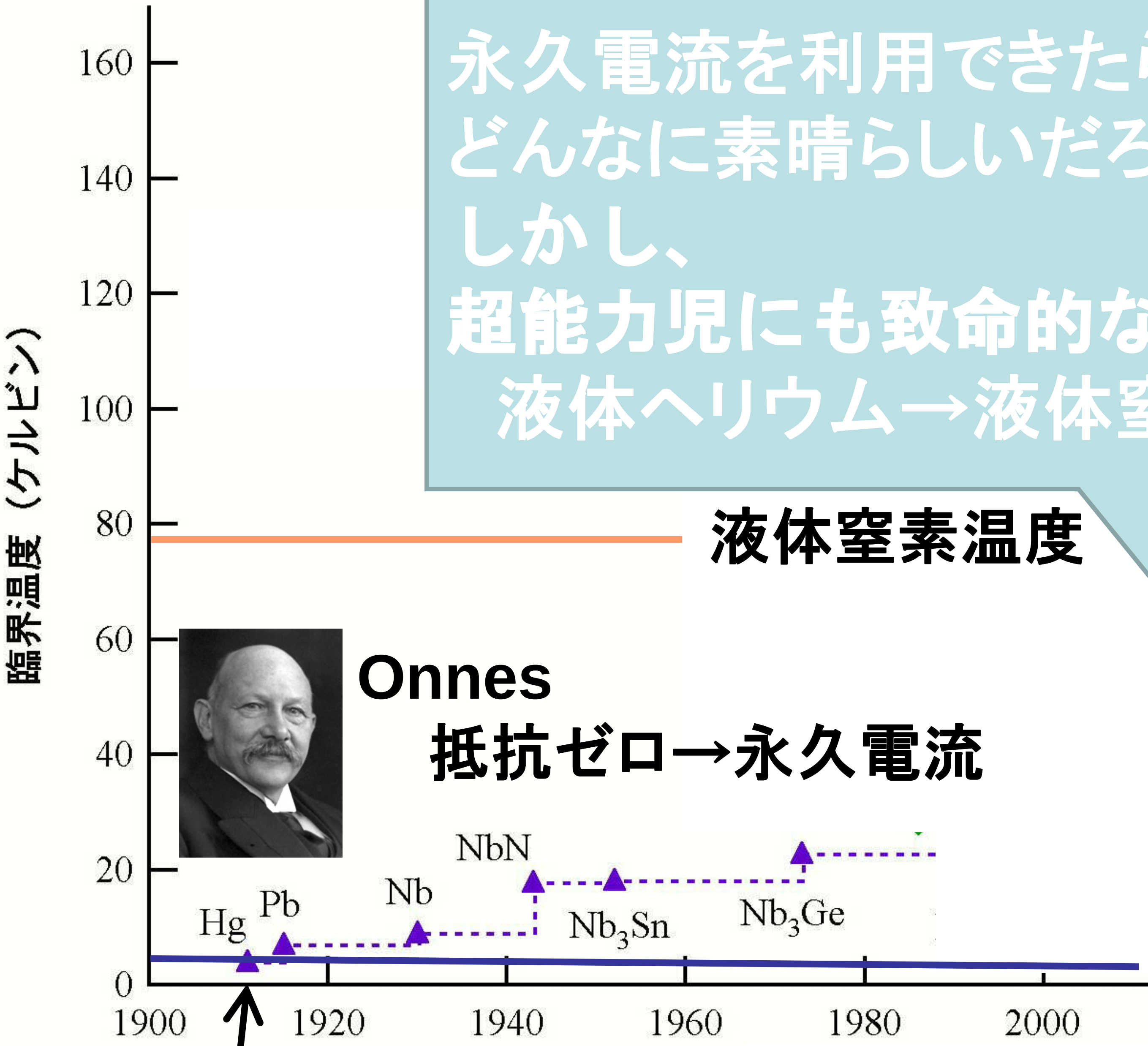
世界の砂漠とエネルギー消費地

太陽光：
サハラの4分の
1の面積で
Okay！！！



必要送電距離
２～５０００ｋｍ
→超伝導送電したい！

永久電流を利用できたら
どんなに素晴らしいだろう
しかし、
超能力児にも致命的な欠点！！
液体ヘリウム→液体窒素温度！



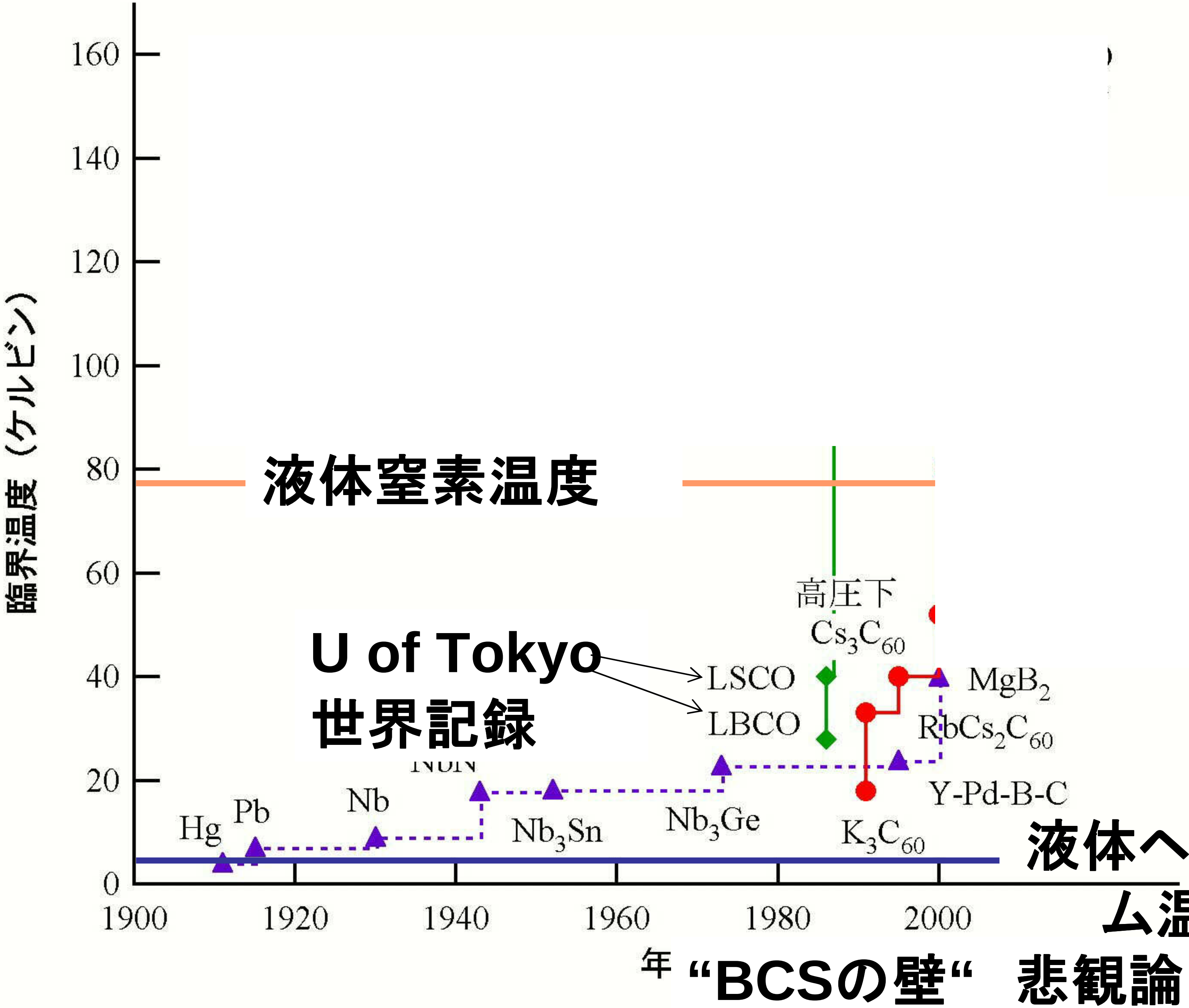
液体窒素温度

Onnes
抵抗ゼロ→永久電流

液体ヘリウム温度

1911

“BCSの壁“　悲観論

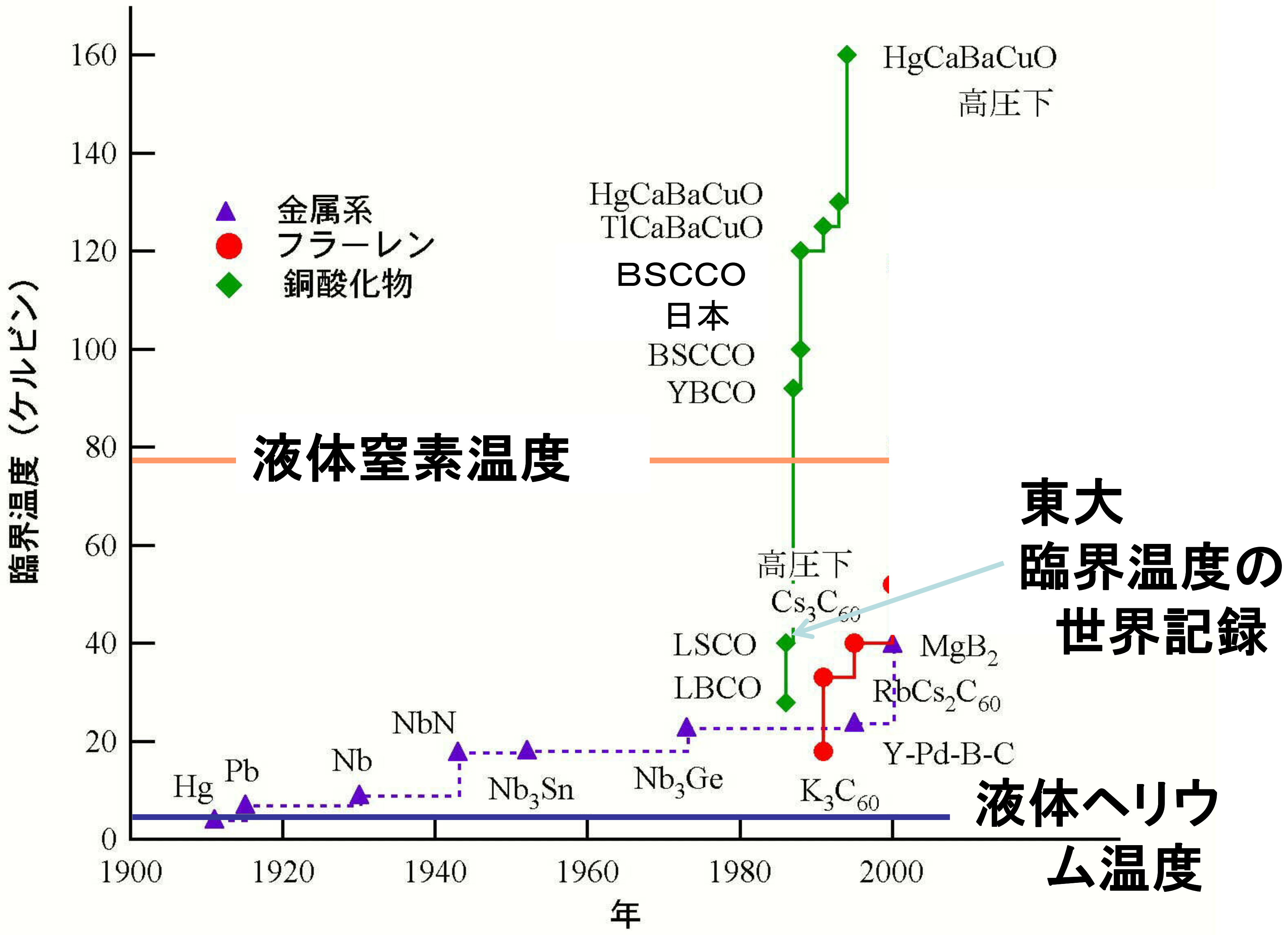


液体窒素温度

U of Tokyo
世界記録

液体ヘリウム温度

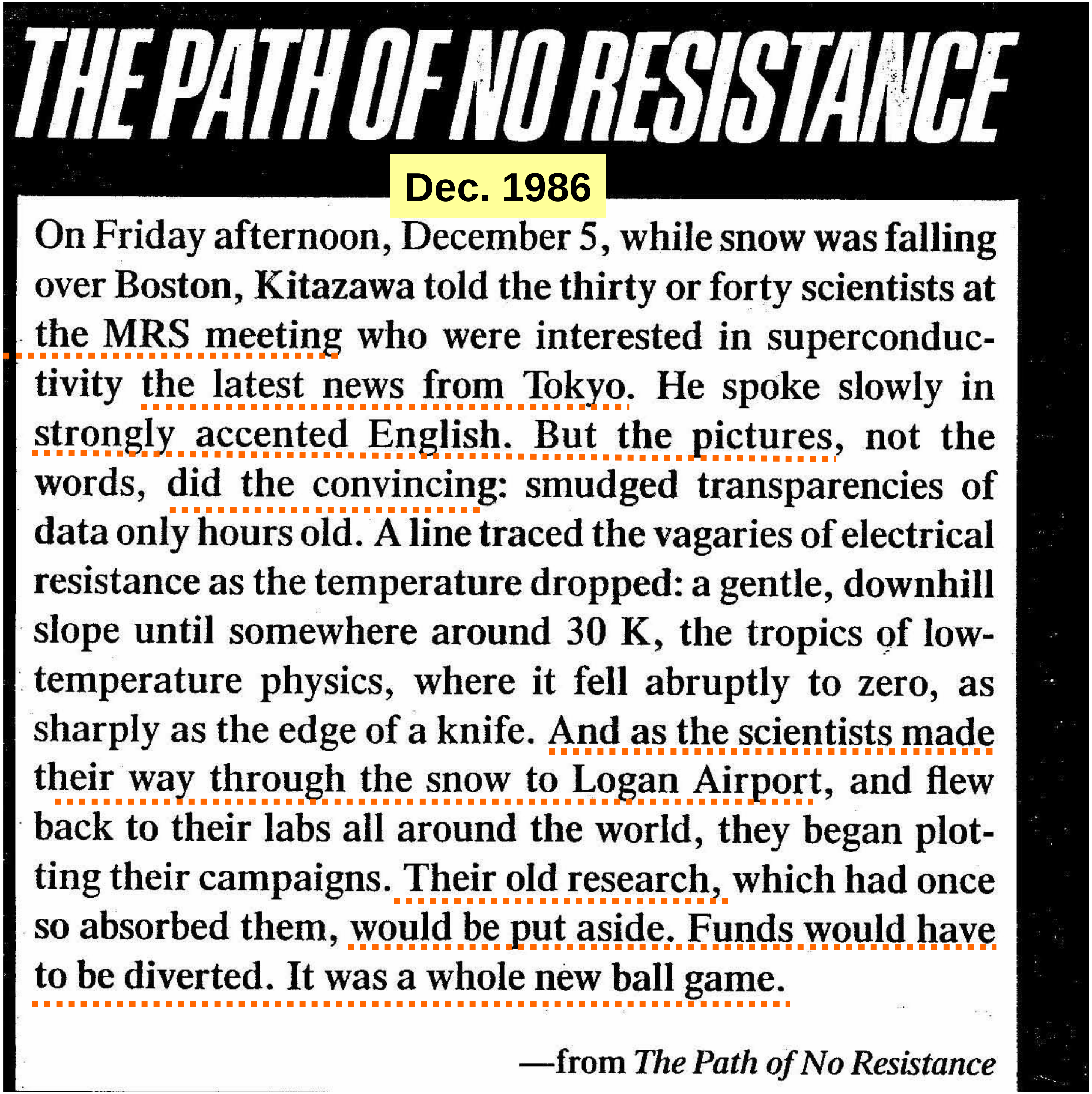
“BCSの壁“　悲観論



液体窒素温度

東大
臨界温度の
世界記録

液体ヘリウム温度



THE PATH OF NO RESISTANCE

Dec. 1986

On Friday afternoon, December 5, while snow was falling over Boston, Kitazawa told the thirty or forty scientists at the MRS meeting who were interested in superconductivity the latest news from Tokyo. He spoke slowly in strongly accented English. But the pictures, not the words, did the convincing: smudged transparencies of data only hours old. A line traced the vagaries of electrical resistance as the temperature dropped: a gentle, downhill slope until somewhere around 30 K, the tropics of low-temperature physics, where it fell abruptly to zero, as sharply as the edge of a knife. And as the scientists made their way through the snow to Logan Airport, and flew back to their labs all around the world, they began plotting their campaigns. Their old research, which had once so absorbed them, would be put aside. Funds would have to be diverted. It was a whole new ball game.

—from *The Path of No Resistance*

1987
Books published
for non-academic
community

Cover story:
本のカバーの
宣伝文

“The path of no
Resistance”
H. Schechter
Simon & Shuster

On Friday afternoon, December 5, while snow was falling over Boston, Kitazawa told the thirty or forty scientists at the MRS meeting who were interested in superconductivity the latest news from Tokyo. He spoke slowly in strongly accented English. But the pictures, not the words, did the convincing: smudged transparencies of

sharply as the edge of a knife. And as the scientists made their way through the snow to Logan Airport, and flew back to their labs all around the world, they began plotting their campaigns. Their old research, which had once so absorbed them, would be put aside. Funds would have to be diverted. It was a whole new ball game.

—from *The Path of No Resistance*

Interview with Koichi Kitazawa

Koichi Kitazawa is a Professor in the Department of Industrial Chemistry at the University of Tokyo. He earned his Ph.D. at Massachusetts Institute of Technology. At the November 1986 MRS meeting, Professor Kitazawa's announcement that he and his colleagues had confirmed the Bednorz and Müller results sparked worldwide excitement in the research community. In this wide–ranging interview, Professor Kitazawa discusses current issues and the history of oxide superconductor research in Japan.

How did you happen to study at MIT?

I began my Ph.D. studies in the Department of Industrial Chemistry at Tokyo University. I was studying zinc oxide to learn how zinc and oxygen ions move due to diffusion at high temperatures. My results were different from a theory proposed by Dr. Robert Coble at GE Schenectady laboratory, so I sent him a letter with my data. But Dr. Coble had moved to MIT, so my letter went to MIT.

Dr. Coble was on sabbatical year, sailing to Tahiti on his boat, so my letter didn't reach him. The department head, Professor Kingery, sent me an application form for the graduate school at MIT. But the application said foreigners must take a language examination and also the Graduate Record Examination, and the time for those had already passed. Besides, I was in my second year of Ph.D. studies, so I thought, "This is impossible." But anyway, I filled out the form and sent it to MIT.

Then I received a letter inviting me to enter the graduate school. I was in trouble, because in 1969 one dollar was 360 yen — right now it's 120 yen. So I wrote again and said I was sorry, but I could not attend MIT because it would be impossible to support myself and my wife as a student in the United States.

Then I got a letter saying I had been granted a scholarship. So I asked my boss, Professor Mukaibo, "What should I do?" And he said, "Why not go study at MIT?"

So I went to MIT in 1969 and studied with Professor Coble in the ceramics division of the Department of Materials Science. I finished my Ph.D. after two and a half years and stayed one more year as postdoc. I wrote my thesis on the electrical and diffusional properties of aluminum oxide and zirconium oxide at high temperatures.

I was very happy as a student there. Getting to know people in this country was the most valuable part of the experience. And I had the opportunity to look at Japan from outside — that was also important.

Who were your friends, and why were they more important than your studies?

I had already spent three and a half years as a graduate student at Tokyo University, one and a half of those as a Ph.D. student. I had already learned most of what a Ph.D. student normally learns; the rest is just to finish his thesis. So at MIT I learned those things again.

Professor Kent Bowen of MIT was also a Ph.D. student then, one year senior to me. It was during the Vietnam War; there were many hippies, and students didn't work very hard. But Kent is an old–fashioned American — in his mind there is no success and no future without sweat. When I call him from Japan at 5:30 in the morning, he's already in the office. We can judge how he would think; he is honest, and he always attacks problems from the front. So he is someone I can ask to hold the life line for me. People like Kent are necessary in order to move things toward the correct direction.

Professor Coble, my supervisor, was also an interesting person, and my wife and I loved him very much. Whenever he went somewhere he took us with him — especially when he went skiing, because he didn't like to stay in his cottage alone. In fact, I learned later that Professor Coble had arranged for my admission to MIT because I mentioned on the application that I had worked as a ski instructor! He influenced us very deeply because of his humanity and his sense of humor.

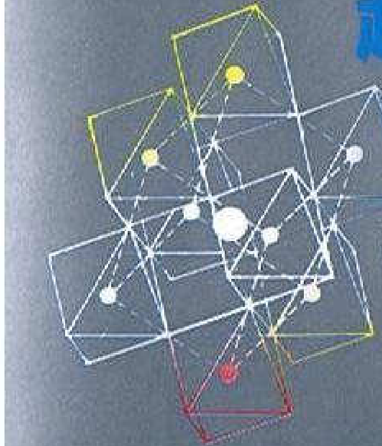
What did you learn by looking at Japan from the outside?

Most Japanese people think they do not have to express themselves very much to be understood. But that's not true. Japanese are often misunderstood by foreigners. Even if a Japanese person has good will,

マイスナー効果を初めて発見した金沢君
抵抗ゼロを初めて観測できた永崎君
二人とも4年生（卒論）の時　1986

Two students who helped confirm the existence of high–T_c superconductivity: Shoichi Kanazawa, who studied LaBaCuO for his undergraduate thesis, and Hiroshi Eisaki, who first measured zero resistivity above 23K

石ノ森章太郎の
超電導講座



$(La, Ba)_2CuO_4$

BN4-06-177601-0 C0079 ¥1200E (0) 定価＝1200円

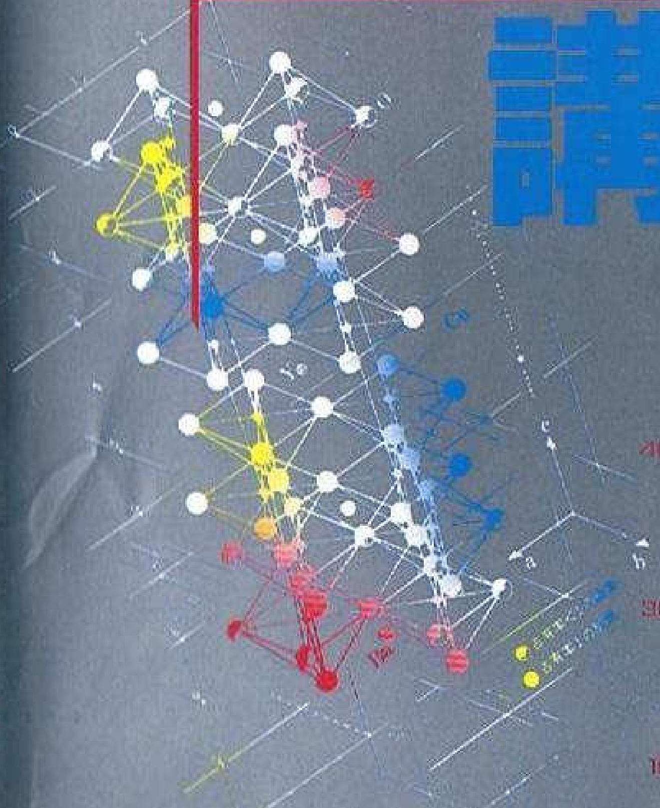
石ノ森章太郎の
超電導講座
マンガ
講談社

石ノ森章太郎の

マンガ

超電導講座

SUPERCONDUCTIVITY



講談社
Quark

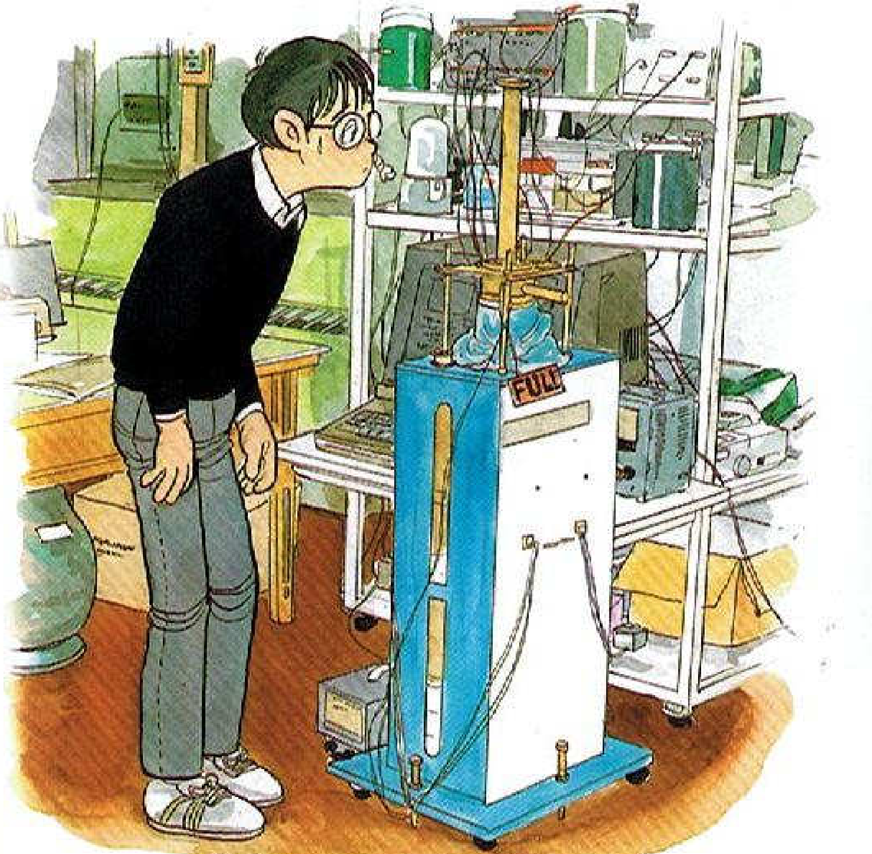

T大工学部
1986.12.6　2：00a.m.……
……あ～あ
誕生日（12.1）までには
なんとか成果を、と
頑張ったんだが
それもダメ……
……おまけに
今夜はドジだ！


……誕生日
おめでとう！
——洋クン！
なにをソワソワ
しているの!?
あ、いや、その……
ちょっと——研究室の
ことが気になって……
今日はアナタの
誕生日なのよ！
なによ
今日一日ぐらい
研究のことを
忘れられないの!?
ここんとこデートは
ろくすっぽしないし
アタシより研究の方が
大事みたいなんだから！
わるい……
研究、研究って……
一体なんの研究を
してるのよ!?
超電導……
チョウデンドウ!?

K（ケルビン）＝絶対温度の単位

序章

東京発の大フィーバー



研究者たちはヒーローになった。しかし・・・技術は時間がかかる。

Cartoon books published

By Ishinomori Shoutarou
“Choudendo Kouza”
“SC lessons”
Kodansha Publ. Co. (1987)

And 20 years have passed.
Two Problems to be solved

1988.1.27

夕刊　讀賣
THE YOMIURI
EVENING EDITIO

幼稚園学級定員見直し（社会面）

3面　スポーツ　Special
7面　写会学'88
8・9面　ニューライフ
「ニューオフィス」の時代

税率は5％以下

新型間接税　山中会長が初言及

自民党税制調査会の山中貞則会長は、二十七日午前の正副会長会議で、抜本税制改革の最大の焦点である新型間接税の税率について、「売上税廃案の反省に立って、（売上税と同じ）五％とすることは無理だ。各部会長は（来週から）関係業界団体に説明してほしい」と述べ、五％以下の低税率に抑える考えを明らかにした。山中会長はまた、「党税調の論議では、どうして偶数の（税率を主張する）意見がないのか」とも述べ、五％以下の範囲で幅広く検討する必要性を示した。

農林部会長が、「食料品はヨーロッパで非課税品目になっている。新型間接税の税率が五％程度になるなら軽減税率を適用して欲しい」と要望したことに答えたもの。

税率については、所得・住民、法人税など減税規模が五兆円を大きく上回る見通しとなっているため、大蔵省当局はその財源との絡みで、五％

党税調のこれまでの審議では、「二～三％」の低税率を求める声が大勢を占めているが、山中会長は具体的数字に言及するのを一切避け、この日初めて触れたものだ。

山中会長が五％を困難としたのは⑴昨年挫折した売上税と同率では国民的な理解が得られない⑵財源も重要だが、制度の導入が最優先だ――などの考えに基づくものとみられる。

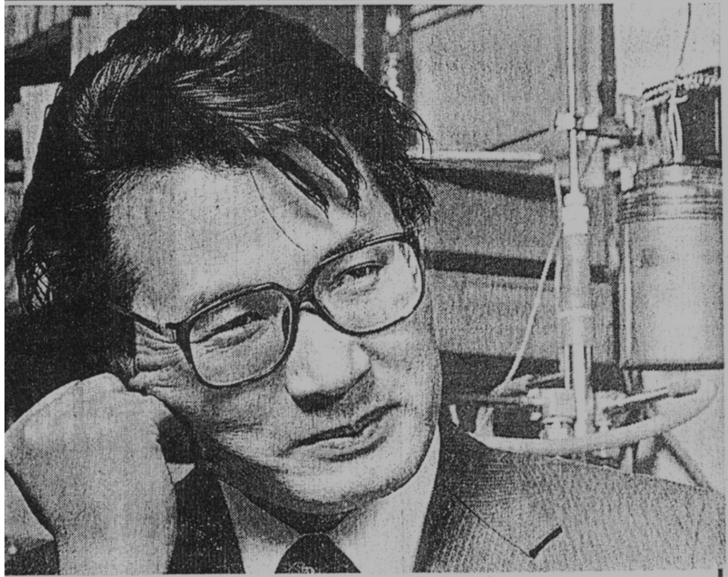
ただ、税率は非課税品目の範囲や免税点など新型間接税

社会党中央執行委員会で対応を協議する土井委員長㊨と山口書記長

処分な

社会新報誤報

社会党は、二十七日
三役会議と中央執行
相次いで開き、同党機
会新報」（二十四日
金貞烈・韓国前首相の
宣言〟と称する怪文
いて誤報記事を掲載
で、謝罪文掲載、石
長の更迭など一連の
式決定した。これを
同日午後、井上一成
が外務省に対し、こ
社会党がとった対応



明日の顔

＊30＊

北沢　宏一

（きたざわ・こういち）東大工学部教授

視線がはるかかなたへ飛んだ。瞬間には〝あの日〟がまざまざとよみがえる。〝あの日〟――一九八六年十一月十三日夜。電話越しに、若い同僚が興奮の絶頂で叫んでいた。「本物の超電導です」。

「間違いない、と確信しました。体の震えが止まりませんでした」

これが、世界で初めて高温超電導物質を確認した瞬間であり、その後一年余り、世界の学界と産業界を超電導フィーバーに巻き込んだきっかけだった。

が、昨年十月十四日、ノーベル物理学賞はスイスの二人に決まった。北沢さんはもちろん、師の田中昭二・前東大教授もその名を連ねることは出来なかった。東大勢の研究のヒントが、ドイツ語の研究雑誌に眠っていたスイスの二人の「超電導〝らしい〟」という報告にあったからだ。

――悔しさは？

「いや。選考は客観的だったと思います。それよりノーベル賞を身近に感じました。専門外のあの二人がもらえるのなら、と」

略歴　昭和18年、長野県飯山市生まれ、45歳。41年、東大理学部卒。マサチューセッツ工科大留学後、東大工学部助手。講師、助教授を経て、62年から教授。

なお壁多く　超電導

スイスの二人が超電導にぶつかったのは「交通事故みたいなもの」と言う。そして「実験家にとって、交通事故がいかに大切か、を痛烈に教えられた」とも言う。それまでの優しい目が、静かに光った。

話題が、超高速のリニアモーター・カーや電気の永久貯蔵といった超電導の実用化に転ずると、口はとたんに慎重になった。「これから壁を幾つも突き抜けなければならない上に、進歩は全く予想もつかないのですから」。

安田講堂〝落城〟の時、博士課程一年の全共闘世代。「あまりに青かった……」と言葉少な。

今、フィーバーは去り
電導は着実な研究競争の
ージへ。「日本の企業の
体制はすごいから、まと
対抗しても歯が立たない
らには手が出せない、不
なテーマが我々の狙い目
ね」。胸の奥でたぎる自信
またむくむくと頭をもた
る。

文　雨宮　正彦・写真　小野寺

高温超伝導はなぜ起きる？

現在も論争続く

２５年経っても・・。むずかしい！

理論家と実験家の努力　クーパー対の存在は確認

解明できたら、ノーベル賞!

高温超伝導の課題ー実用化への道

大電流が流しにくかった

材料技術の進展：技術者たちは頑張ってきた！

→日本の活躍→高電流密度超伝導線の進展

→超伝導ケーブルの実地試験

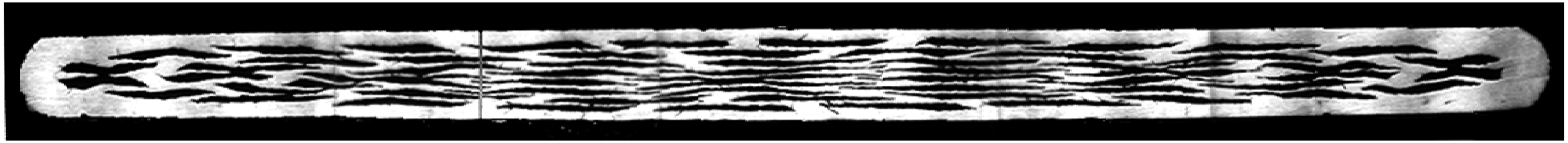
細野秀雄（材料科学）

トムソンロイター社　被引用件数
2009　総合世界トップ　栄誉賞

世の中のすべてのモノは、酸素、アルミニウムなど100あまりの元素の組み合わせで出来ている。無限にあるその組み合わせの中から、画期的な新材料を見つけてきた材料科学者・細野秀雄は、世界が注目する「現代の錬金術師」だ。

BSCCO 2223　ビスマス系線材

銀シーステープ状線材、ファインマルチ線材
繊維状酸化物超伝導線が銀に埋め込まれる



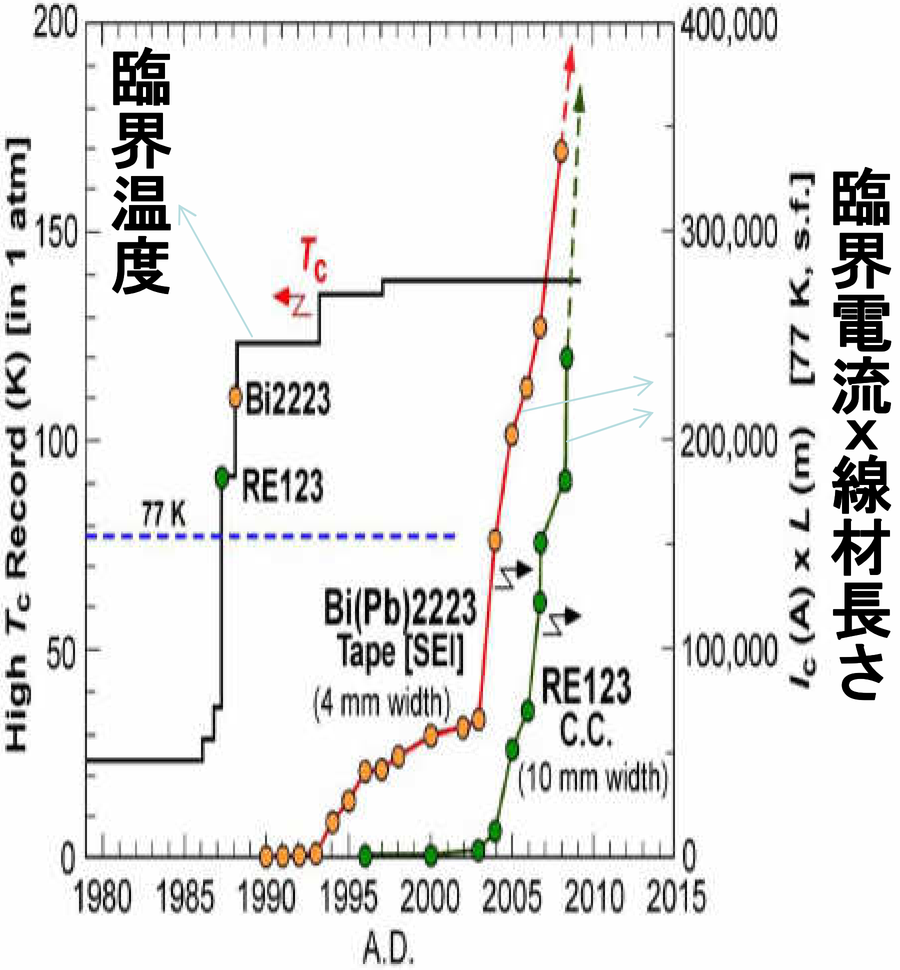
3 x 0.2 mm

特許　　**断面図**

臨界電流
I_c ： 250A に達した
（銅線なら１０A程度）
2005年　実用化レベルに

Picture from
SUMITOMO ELECTRIC

超伝導線材の性能革命2005

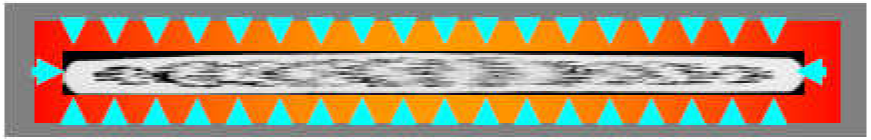


Bi(Pb)2223 cable
2000 km/yr

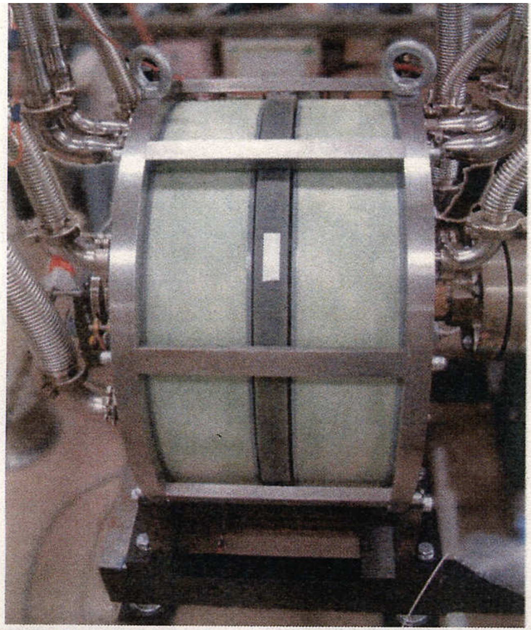
RE123 cabler
~ 100 km/yr

2 km BiSCCO(2223) multi-core
Ag tapes (4 mm wide x 0.25 mm thick)
are made by hot pressed (300 atm)
stretching process

[SEI, Osaka]



超伝導モーター·スクリュー推進船
（ＩＨＩ·住友電工·福井大学）



高温超電導ﾓｰﾀ

600φ x 0.6m

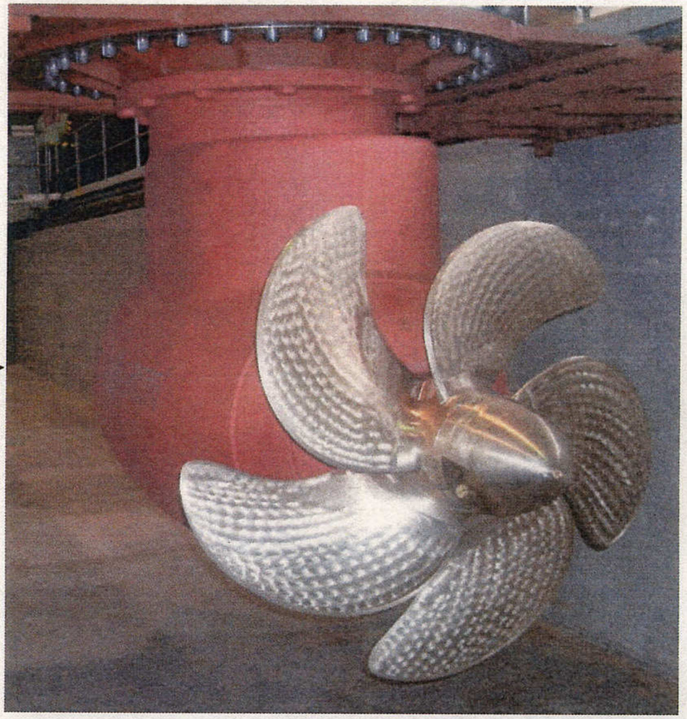
定格12.5kW（過負荷62.5kW）
x100RPM

(液体窒素温度：66K）

超電導ﾓｰﾀを内蔵した
ﾎﾟｯﾄﾞ型推進装置

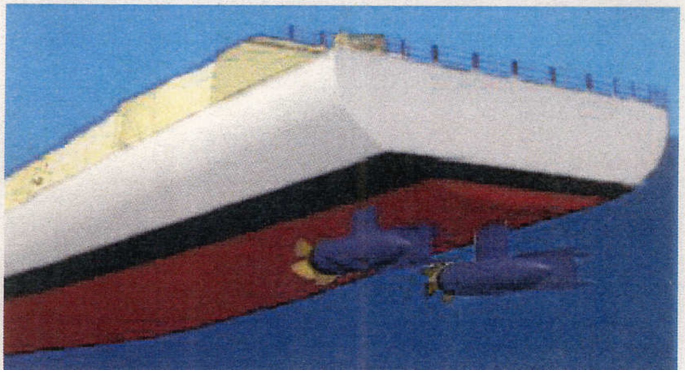
800φ x 2m

ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ径 : 1m



水槽での実証試験

超電導ﾓｰﾀを実装した
船舶ｲﾒｰｼﾞ図

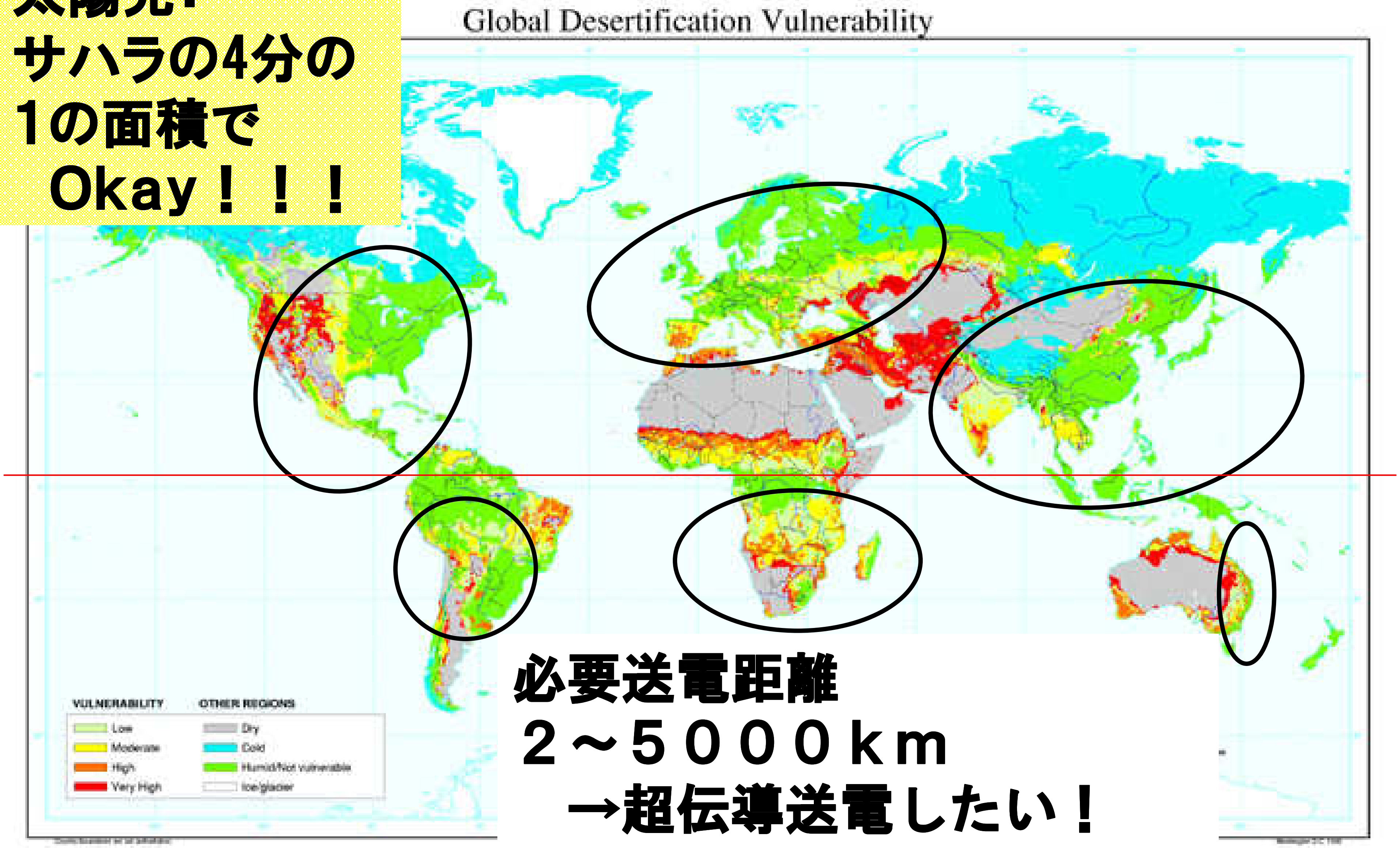


高温超伝導ケーブルの構造（住友電工）

自然エネルギー超伝導グローバル電力ネットワーク構想
(北澤：雑誌ニュートン　2001年1月号）

世界の砂漠とエネルギー消費地

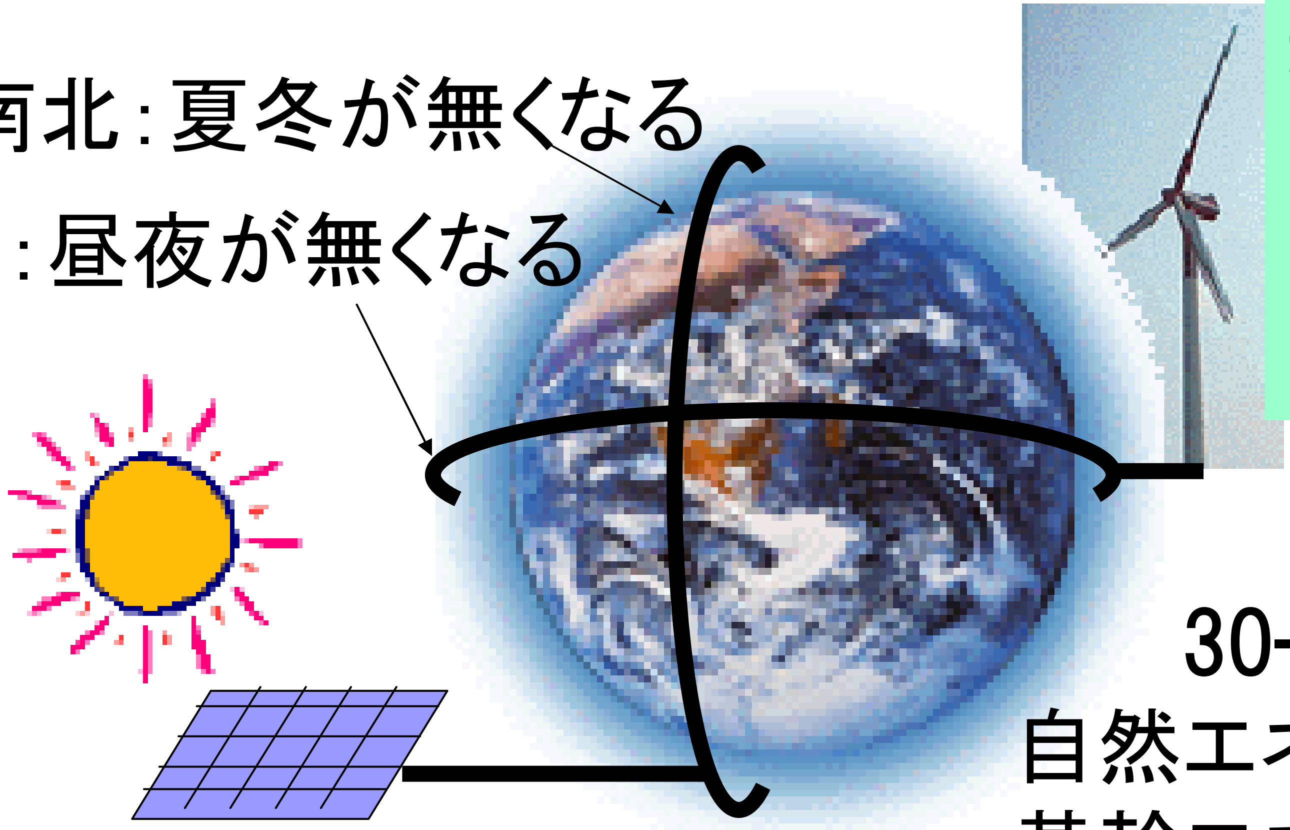
太陽光：
サハラの4分の
1の面積で
Okay！！！



必要送電距離
２～５０００ｋｍ
→超伝導送電したい！

超伝導地球電力網(GENESIS)

間歇性(天候・昼夜)、消費変動を場所的平均化



南北：夏冬が無くなる

東西：昼夜が無くなる

場所平均：
時間平均
(電力貯蔵)
より有利

30-40年後
自然エネルギーを
基幹エネルギーに
安定化・コスト半減

north pole

south pole

Koichi Kitazawa

Magnetic line blanket prevents the invasion of radioactive cosmic ray .

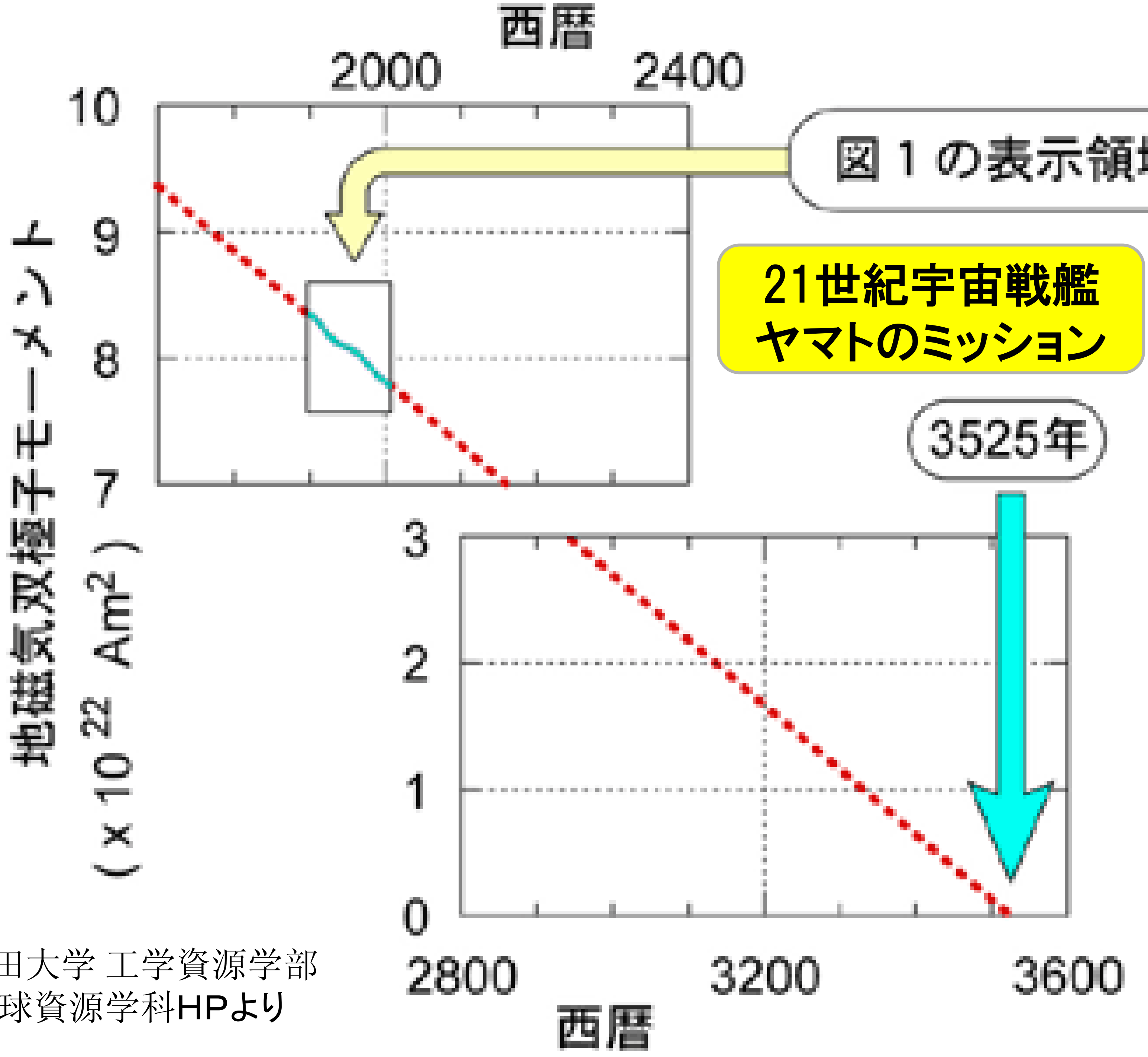


図１の表示領域

21世紀宇宙戦艦
ヤマトのミッション

3525年

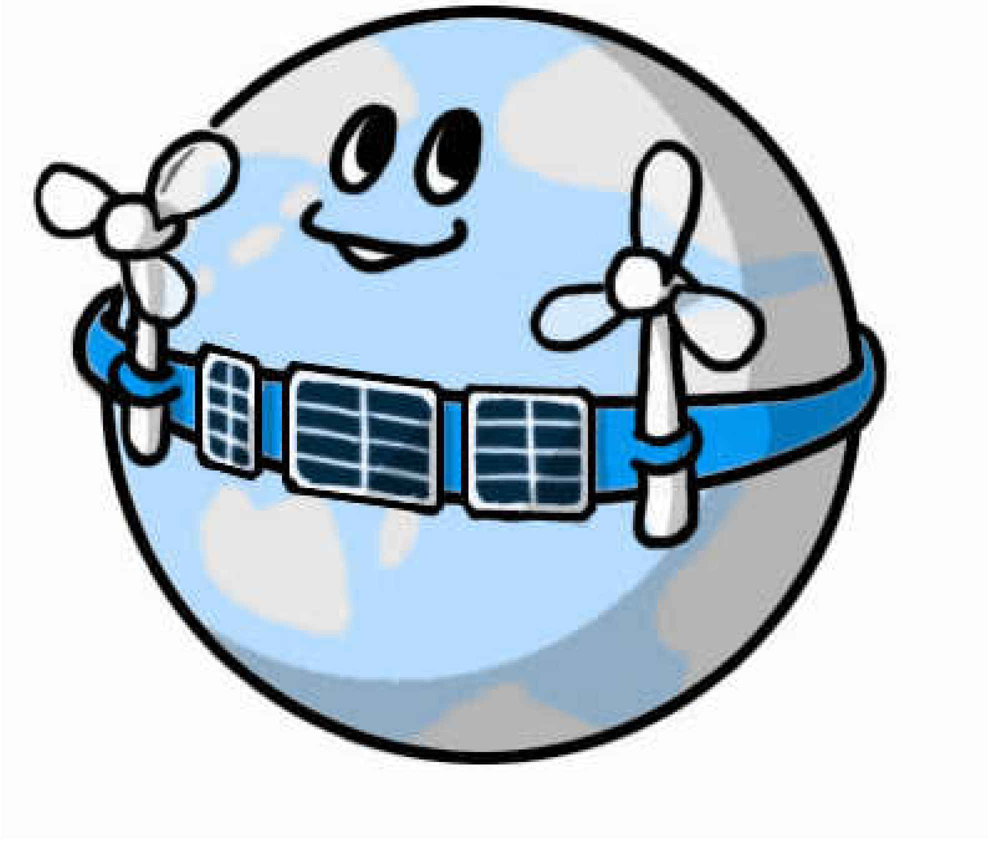
地球磁場がこのまま減少すると
三五二五年には強度がゼロになる

秋田大学 工学資源学部
地球資源学科HPより

21世紀後半の宇宙戦艦ヤマトの新ミッション

- 地磁気が弱くなっている
- 地磁気のメカニズム不明
- 地磁気が宇宙からの帯電粒子の防御壁
- 帯電した宇宙線粒子が直接地上へ
- 人類は生きられない
- どうするか？

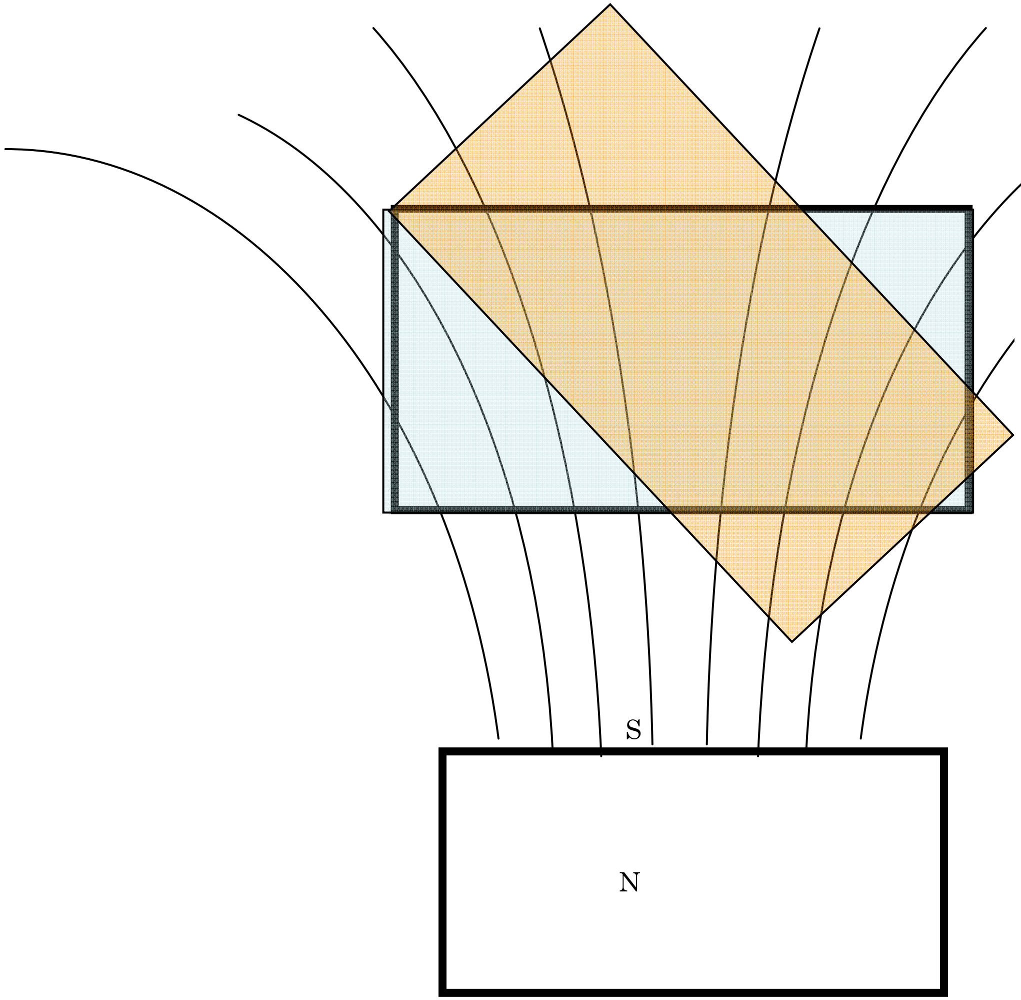
私の夢：超伝導地球鉢巻き自然エネルギーシステム



科学（サイエンス）とは

- 自然現象をきちんと観察
- より深い観察（見過ごし易い！）
- それを記述
- 法則にする
- 説明できる理由（メカニズム）を考える
- すべての観察を説明できるか？
- 実験
- 推理小説を書きながら読む楽しみ！！

実験：　超伝導体の不思議
磁石と超伝導体はどこが違う？



冷えた
超伝導ディスク

永久磁石