

国際リニアコライダー計画の見直し案に関する検討委員会（第24期・第7回）
・同技術検証分科会（第24期・第7回）合同会議
議事録

日 時： 平成30年10月10日（水）13:00～16:00
会 場： 日本学術会議 大会議室（2階）
委員会出席者： 家委員会委員長 米田委員会副委員長 田村委員会幹事
西條委員会幹事（スカイプ） 上坂委員 杉山委員（スカイプ）
永江委員 平野委員
分科会出席者： 米田分科会委員長 嘉門分科会副委員長 中静分科会幹事 家委員
西條分科会幹事（スカイプ） 田中委員 望月委員
参 考 人： 細谷裕参考人（大阪大学名誉教授、大阪大学大学院理学研究科招へい教授、
大阪大学総合学術博物館湯川記念室特任研究員）
オブザーバー： 道園真一郎氏（高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設加速器第六研
究系主幹）
道園氏随行者： 早野仁司氏（加速器研究施設・教授） 照沼信浩氏（加速器研究施設・教
授） 山下了氏（ILC 推進準備室・客員教授） 宮原正信参考人（高エネル
ギー加速器研究機構加速器研究施設研究支援員）
事 務 局： 犬塚参事官ほか

【公開審議】

道園氏（オブザーバー）から、トンネル湧水処理、環境配慮等についての追加説明が行われ、次のとおり意見交換が行われた。

嘉門分科会副委員長：トンネルの湧水処理について、管理排水と非管理排水とに分けて明確にご説明いただいて、よく分かったと思う。ところで、これ水平の直線トンネルなので、湧水は基本的にはポンプリレー排水でアクセストンネルまで持ってくるという、そういうことで理解をしている。特に非管理排水は自然流下に委ねるということだが、湧水量が多い場合は、流下勾配が取れなくて詰まってしまうという危険性があるので、これもできたときに湧水量を測定しながら調整するというようにして、電源喪失時にきちんと排水するような対策はやはり取っておく必要があると思う。

それで、非管理排水が電源喪失時に自然流下でできるなら、定常時だって自然流下させたらいいので、それがうまくいけばポンプリレー排水する必要なんかは全くないということ、整合性が取れるんじゃないかなと思う。

道園氏：その辺については、恐らくサイト、これ河川に流すといったときに、水がどれぐら
いかにもよと思うが、サイトにその水を全部流していいのかとか、それはやっぱり実際の
サイトの詳細として詰めていく話なのかと思っている。

嘉門分科会副委員長：ただし、湧水を河川に流すのは、これは結局建設に際しての環境アセ
スメントも含めてきちんと説明しないといけないので、それは実際掘ってみないと分から
ないところがあるが、想定した上で了解を取らなきゃいけない話だと思う。無駄にやる必要
はないので、実際に合わせて適合したシステムをつくられるといい。ただし、管理排水と非
管理排水をきちっと明確に分けるということについて、細かくご説明されたんじゃないか
なと思う。

望月委員：非管理のほうの排水だが、要はトンネルの覆工に圧力がかからないようにしたい
ということだと思う。地下水を常時抜くことになるので、数字が頭に入っていないので分か
らないけれども、周辺というか地山の地下水への影響が一つあり得る。それから放射化がど
こまで起こるかという問題があるが、仮に覆工の外まで影響が及ぶということになると、そ
の辺りを流れている水を非管理として処理するわけなので、そこも気になる。後のほうの話
は、チェックはするというふうに表のほうには書いておられるので、念のためチェックをす
るというので説明がつくと思うが、前半の部分、地下水の影響の方は私も良くは分からない
が、住民の方々といろんなトンネルでもめているので。

道園氏：放射化という意味か？

望月委員：放射化ではなく地下水の低下。これは結構もめているので、いっそのことお金は
少しかかるかもしれないけれども、水圧に耐えられるようにウォータータイトでつくると
いう方法もあると思う。どちらが良いのかよく分からないが。

道園氏：多分、その辺は専門家の方の先生のご意見を踏まえて、予算との兼ね合いで考える
のだと思うが、考え方として一つはアクセスホールから揚水したものを山に戻すというよ
うな、そういった考え方もあった。どういったかたちにするのが一番水に戻すのにいいのか
ということはあると思うが、それは実際のサイトを検討した上で、いろいろ検討していく必
要があるかなと思っている。

望月委員：山に戻す事例は、私はあまり聞いたことがないが、懸念としては、地下水低下で
障害が起こるのではないかと、沢水が枯れるのではないかと、必ず出てくる話ではある
ので。さらに、どのくらい水が出るかはつくってみないと分からないというところもあるの
で、もめる要素には当然なる。もう一度構造全体をどうするか、ウォータータイトにする

いう案を含めて検討したほうが良いように思う。ただしお金はかかる。

道園氏随行者：追加の情報だが、ご指摘はまさにそうで、現地では、今の候補地では水門調査というのをやっており、必要があればそれも提出させていただくことになる。それで、水の量に関しては、想定している量というのは、この前も申し上げたとおり、花崗岩地帯でのトンネルの日本の平均で、現在考えている候補地というのは、それよりは工事の実績値から見ても水の量は少ないということで、最大値を見積もって今設計を進めている。それにプラスして水門調査というのをやっているということである。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：私は管理排水について教えていただきたい。1つ目は、管理排水を安全確認後に揚水・排水と書いてあるが、このとき安全ではないとわかった場合には、どういう処理をして排水されるのか、もう一つは、これはビームダンプの水は入っていないと思われるが。

道園氏：ビームダンプの1次側は入っていない。これはどういうものかということ、こちらの側溝にたまった水のことで、基本的にはこれは空の状態である。

米田委員会副委員長・分科会委員長：ビームダンプの水は入っていないと思うが、ビームダンプの水も、いろんな災害が起こったり、故障が起こったりして、漏れることもゼロではないと思うが、事故のときの水の処理はどうするのか。また、運転が終わった後、放射化された水がたくさん残るわけだが、それをどう処理するのかということを知りたい。

道園氏：まず、われわれの例だと、この1次貯留タンク、KEKのところのKEKBとかJ-PARCとかあるが、基準を超えた例を私は知らない。だから多分基準は超えないと思うが、基準を超えた場合には、少量であればアイソトープ協会に引き取ってもらうとか、そういうことはできる。それからビームダンプの水については、これは運転停止後のお話だと思うが、運転停止後にどういう扱いをするかだが、基本的には放射化したものについては、国の基準に従った廃棄物の処理施設に持っていくという話をしたが、少量であれば、今までも液体についても放射化物を引き取ってくれた例がある。放射化物の埋設施設というのは大体300年監視するということになっている。トリチウム水だと120年あれば濃度が1,000分の1になるので、それぐらいになるまで監視するということができるのであれば、埋設施設に合わせて引き取っていただくというのも視野にあると思う。

あるいは、安全な場所にタンクをつくって保管するか、どちらかだと思う。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：もう一つは、事故とか故障が起こって、ビームダンプの窓が壊れて、ビームダンプの水が吹き出したとき。この間は途中でシャッターが下りて、

それで防ぐというようなお話だった。

道園氏：一応ビームパイプの中に閉じ込められるという想定をしている。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：そこにたまった水はどうするのか。

道園氏：その水は、量にもよると思うが、管から出して、まずはこういうタンクを置くところに持っていき、ろ過した上で再利用するというのが一番いいと思っている。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：ろ過できるのか。

道園氏：ろ過というのは、要するにほこりとかそういったものをとり除いた上で回すという、そういう意味である。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：相当トリチウムは入っているのではないか。

道園氏：トリチウムは入ったままビームダンプで使い続けるということである。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：私が聞いているのは、そこが故障して、ビームダンプの水がトンネル内に吹き出したときはどう処理するのか、ということである。

道園氏：それは、水をまず回収する。回収した水がどれぐらい汚れているというのは、つまり例えば金属がどれぐらい入っているか、それによつてと思うが、使えればそのままビームダンプを冷却するところに戻すというのが一番単純な話だと思っている。

米田委員会副委員長・分科会副委員長：金属片を除いて、またビームダンプのタンクに戻すということか。

道園氏：それが一番シンプルで、一番いいやり方だと思っている。

家委員会委員長：今のその話が出たついでに、ないとは思いますが、1次冷却水が漏れた場合、真空パイプの中にたまる。それを取り除く、そういう作業のときに、人はどこまで立ち入ることを想定しているか。

道園氏：前回の放射線の量を見たときに、ビームダンプの一番窓のところから1メートルぐらい離れたところで、確か5ミリシーベルトパーアワーぐらいだったと思うが、その辺

までは多分アクセスできる。基本的には、水を抜くというところまではリモートでやって、それからビームダンプのダクトを交換するというところも、もともと窓を交換するとき一体となって交換するというかたちを提案しているところなので、基本的にはビームダンプの窓を取り外したところからアクセスすればいいと思うが、ビームダンプ窓の 1 メーターのところまでは多分アクセスすることはできると思う。

家委員会委員長：どのくらい放射化が進んだ段階でということと、あと漏れた量にもよると。

道園氏：それにもよると思う。

家委員会委員長：そこに人が近寄れるかどうかで技術的困難の度合いが大きく異なる。

道園氏：ビームダンプの場合は、ビームが当たるところが非常にローカライズしているので、離れるとぐっと落ちるとするのは前回お見せしている。

家委員会委員長：それから大変細かい話だが、そもそもトンネル内、外側の導水路、青いやつ、その上にある破線の矢印は何を表しているのか。

道園氏：これは、万が一ここがいっぱいになったらこちらにあふれるという、あふれるような仕組みをつくっておくということである。

家委員会委員長：そうすると、あふれてしまうと、その管理水が桁違いに増えるということか。

道園氏：どれくらいあふれるかにもよるが、設計時点ではあふれない程度の大きさにしておく設計をするわけだが、万が一あふれた場合も、サービストンネルでこれを受けとめようと、それは前回ご説明したサービストンネルが冠水するということは許容するというお話である。

中静分科会幹事：確認みたいなものだが、日本の場合は、このヨーロッパの例ほど平らな場所に建設することは多分できないだろう。それは具体的な場所が決まらなると分からないことでもあるが、候補地のお話を聞いてもそうだと思う。今回のケースは、要するに法アクセスにはかからないけれども、法アクセスと同じようなやり方を自主アクセスとしてやるという理解でよろしいか。

道園氏：LHC ではそういうことをずっとやってきたということである。

中静分科会幹事：その場合に、ちゃんと配慮書段階から複数案を示してやるということによろしいか。

道園氏：はい。

中静分科会幹事：自己アセスでも、事後モニタリングもされるという理解でよろしいか。

道園氏：はい。

議題 1. 参考人ヒアリング

細谷参考人から「ヒッグス結合の精密測定が、現状の素粒子物理学においてどのような位置づけにあるのかなど、素粒子理論の状況」について説明が行われ、次のとおり意見交換が行われた。

田村委員会幹事：9 ページだが、超対称性理論だったらずれがあり得るというお話だったが、今までわれわれが聞いてきた、例えば浅井参考人の前回のお話とかだと、そこはかなりしつこくお聞きしたが、ここで ILC で 10 年ぐらいしっかり走れば、本当にそれでずれがなければ、もう超対称性ということはまずないだろうと、そういうお話だったが、先生はどうお考えか。あり得るという。

細谷参考人：多分 2 つあって、2 つに分けないといけないと思う。超対称性というものそれ自身があるかないかということと、それから実際にみんなが言っている、LHC とかそういうレベルで言っているエネルギーのスケールで見つかるかどうか、その 2 つである。

LHC のレベルでは、今まで低エネルギーの物理というか、1TeV とか 10TeV とかそれぐらいで、それ以下のところで超対称性があるかということについては、かなりこれまで LHC でいろんな実験がされてきて、また将来ハイルミ LHC でもっと正確に分かると思うが、現在のところは見つかっていないし、非常に難しくなっていると思われる。もちろん、超対称性自身があるかないかという点については、個人的に聞かれると、究極的にはあると僕は思っている。もっと上のエネルギースケールにあると思う。低エネルギーにあるかどうかと言われると、そこはちょっと人によって意見が違うと思うが、自然にはまずない、僕はずっと上のスケールで見つかると思う。

それで、9 ページであり得るとちょっとぼかして書いているのは、確かに有識者会議のレポートなどでは、超対称性だったらちょっと上に出るという記述があったと思うが、それはいろんな理論のパラメーターをある値に選んだときにそうなるということだ。超対称性が破れるスケールは分からなくて、それが大きくなればなるほどその効果は見えにくくなる。

だから、たとえ見えなくても、それで超対称性理論が死ぬというわけじゃない。

超対称性については、僕はLHCなんかのほうが、いろいろもっとこれから実験をやって、はっきりと分かると思う。

永江委員：3ページのところで、4ページのところで議論されていることで、強い力も含めた統一というのが大統一という目標として掲げられているということだと。ILC はあくまで電磁力と弱い力のところの統一の話ということだと理解したが、その強い力も含めた大統一というのを検証するというようなことは、方向性としてはあり得ないのか。

細谷参考人：ILC ではあり得ないと思う。

永江委員：ILC じゃなくて、素粒子物理の今後の方向として、その電弱の統一というのを見ようというのが ILC であると、それは理解したが、だけどその先に大統一というものがあって、それをやるのにとって何がいいかというようなことは何かあるか。

細谷参考人：それはいろんなやり方があって、例えばニュートリノの実験とか、それからいろんな宇宙論からくるいろんな制約とか、いろんなことで、その大統一の構造が間接的に見えてくる領域はいろいろある。例えばよく、ここでも報告されていると思うが、例えば宇宙のバリオン数、粒子が何でこんなに多いのかとか、そういう問題はやっぱり大統一まで本当に行かないと多分分からないし、ニュートリノの実験、カミオカンデで陽子の崩壊をみるとかそういうこともいわれている。それを調べるのはやっぱり大統一とかそういうのを探るため。

もちろん、もっと間接的にはいろんなニュートリノの実験なんかでいろんな構造が今どんどん分かってくる。そういうデータから、もっと上のエネルギーのスケールの物理の何を反映しているのかもわかるかもしれない。いろんなことがいわれていて、ニュートリノのセクターとクォークのセクターで混合の仕方が全然違うとか、そういうことがいろいろある。そういうものが自然に出てくるというのは、やっぱり本当はもっと電弱統一よりも上のところへ行ってやっと分かってくることで、これは何かヒントになる。ILC 自身ではこの点については多分何も言えないと思うけれども。それともう一つ、ILC は電弱統一だけを調べるんじゃない。ヒッグスの部分、ヒッグスの性質を調べるとのことだが、さらに僕が言いたいのは、ILC でもうちょっと上のスケールも実は間接的に見えてくる。それは、ここで書いている大統一じゃなくて、もっと下のエネルギーで、例えば 10TeV とかそういうところで何か新しいものがあるかもしれない。そこは実験をやってみないと分からない。

素粒子物理学では、何かを見つける。実験の人は何らかの手段とか何らかの装置を使って、それで新しいものを探す。そのときに理論屋が予想、予言していることだけじゃなくて、いろいろあらゆる可能性を探って、ときには偶然何かの細かいちょっとしたヒントから何か

新しいものを見つけ出すということを今まで歴史的にやってきた。そういうものを与えないと、そういう手段を与えないと、結局何も分からないと思う。

杉山委員：先ほどの田村委員会幹事かな、関係するが、8 ページ目辺りに細谷参考人が経験されたさまざまな発見というのがあるが、これらの発見はどれも直接的な発見であって、ILC で期待される間接的なものではないということで良いか。

細谷参考人：はい。

杉山委員：では、こういう間接的な実験の価値というものを考えたときに、これまで直接発見に対して、このような精密測定みたいなもので、次の直接的な発見に結びつくような大きな寄与をした例というのはあるか。

細谷参考人：それはあると思う。もともとこういう、ここで書いているジェイプサイとかトップとかも、他の実験からあるだろうと予想されていた。例えばジェイプサイというのは、チャームクォークというのは4番目のクォークだが、実はその4番目のクォークがなかったら理論がコンシステントでない。いろんな観測事実、他のデータからチャームクォークがないと困るといのはもともといわれていた。その当時のいろんな細かいことから、例えばケイオン（中性 K 粒子）の性質を調べれば、どうもやっぱりチャームクォークというのがないと困るとか、そんなことがいわれていた。それと同じように、今度の ILC で、何か e プラス e マイナスの実験で、標準理論からずれてくるというのをちゃんと見れば、それは何か新しいものがあるというのは強く示唆するわけで、次にどこを探すべきかという道筋が見えてくると思う。

杉山委員：そうすると、もし仮にこのずれがあった場合はそれで面白いからいいとは思いますが、このずれが見つかった場合の次の素粒子物理学実験の発展として、例えば 100TeV の LHC 拡張版を必ずやるとか、そのためのドライビングフォースになるということによろしいか。

細谷参考人：もちろんそう。ヒッグス結合の確認でどうなるか、ずれがどういうパターンで見えてくるかというのにもよると思うが、それでずれが見えれば、それを説明するためにはどうなっているべきかという方向性は決まってくると思う。実はその 100TeV の LHC 拡張版だけじゃなくて、僕はもっと他のところでもそういうずれが見えるんじゃないか、さっき言ったいろんな e プラス e マイナス衝突を使うと、LHC では全く測ることができない干渉効果というのをきれいに見ることができる。だから、10TeV から 20TeV のところに、20TeV はちょっと難しいかもしれないけれども、それぐらいのところになんか新しい粒子がある場合に、その効果が、かつ普通の標準模型で出てくるプロセスと絡むようになっていたら、

それはいろいろ見える。間接的だが、かなり面白い。

杉山委員：逆の聞き方をすると、仮に ILC がなかったとしたら、素粒子実験はその 100TeV をつくったり、その 20TeV、30TeV のところを詳しく見たりすることはもうやれないということになるのか。ILC がなかったとしたら何が起こるのか。

細谷参考人：ILC がなかった場合、当然多分ヨーロッパでそういう電子陽電子加速器とか、あるいは中国でもそういうのはつくられるかもしれない。そういうものが全くなかったとしたら、結局 LHC でできるのは新しい粒子をつくる、高エネルギーでつくるというのが一番メインで、だから単純にもうちょっとエネルギーを上げるかというふうになるかもしれないけれども、その線だけで迫るのは、僕は間違っていると思う。多分そこで引っかかって、次の加速器はなかなかできないかもしれないし、そうなる素粒子物理学は僕は停滞すると思う。

田中委員：素粒子分野、物理学分野じゃないので、かなり低級な質問、でも一般の人には分かりやすい質問をしたいと思う。今、杉山委員がされていた質問、私もまさにその質問からスタートしたいと思うが、ILC がいないから高エネルギー物理学が次のステップに行けないとは、分野外だが、思っていない。

ハイルミノシティの LHC だって、基本的にはヒッグスファクトリーである。それと、そもそも LHC でヒッグスが見つからないと最初いわれていた。あんな汚い複雑な反応の中から、いろいろな進歩を重ねたことで、結局イベントを探しだしてきているわけである。だから、基本的にはここで言われていることだって、複雑な現象の中に組み込まれているわけで、それをどうやって探してくるかということは、技術的な話ではないのか。ちょっと乱暴な言い方だが、原理的な話ではない。それはさておき。

先ほど来、この 3 ページ目で、これは多分宇宙が物質、反物質でできているときに、低いエネルギーレベルから、この図で下に向かって（大統一に向かって）調べていけば、最後にわれわれは全宇宙を理解できるということがベースにあったと思う。最近、物質というのは宇宙の数パーセントしか占めていないというエバリュエーションが出て来た。基本的に物質世界を突き詰めていくのだからすごく大変で、さっきの 100TeV、1,000TeV、ずっとこの図の大統一に向かって下に下がっていかうとすると、基本的には今のテクノロジーでは到底地球上で実験なんかできないようなエネルギースケールになっていく。そもそも、ILC がこちょこちょとアクセスするのは、重箱の隅ではないのか。この図の下に下りていって、本当に実証しようとしたら、とてもじゃないけれども、その先ものすごいアップグレードが必要になるし、それとてたかだか宇宙の数パーセントの話の説明するだけだ。じゃあダークセクターとどうカップリングしているのかとか、そもそも全体像をちゃんと記述するようなセオリーというのは全然ないと理解しているが、高エネルギー物理がどこに向かうのか、こ

れから何をしていくのかという大きな話の中で、ILC というのがどう位置付けられているのか全然分からない、さっきから聞いていて。非常に細かいところで、いろいろと微係数が分かると言っているが、そこからの微係数で本当にその先の行きたいところにどうやって行くのか。結局 ILC で出た実験結果がいくらあったとしても、多分無理だと思うが、そのところはいかがなものか。

細谷参考人：もちろん ILC で全部分かるわけじゃない。一つの手段にすぎないと思う。暗黒物質とかそういうのはまた別のやり方で調べるし、宇宙のことも、衛星による観測とかいろんなことでやるし、重力波も使うし、いろんな方法、手段がある。その中の、いっぱいある手段の中の一つにすぎない。かつ、その一つの手段で非常に微小なところしか分からないと言われるけれども、そうじゃなくて、われわれは微小な進歩を重ねてやっと現代にたどり着いている。

田中委員：もちろんそう。だから、そこは全くアグリーする。否定しないけれども、今問題になっているのは、その局所的な微分係数を取るときに、100 万円でできるのだったら、絶対誰も反対しない。じゃあその一ステップを刻むのに、今額面では 6,000 億とかといわれているが、それはもう額面上の数字で、実態としては多分何倍にも膨らみますから何兆のお金になる訳だが、それは妥当なコストなのか。そういうお金を本当に投資するということと、サイエンティフィックなアウトカムというものが釣り合うのか、そこが問われている。費用対効果じゃないが、もちろんこれが安ければ、誰だって反対しないわけで、どんどんやれということになる。引っ掛かるのはそのところ。全体像における ILC の位置付けからすると、分野外の人から見れば、やっぱりとてもお金がかかるとしか思えない。要するに、今の物理の大きなストラクチャーの中で、かなりがしっとしたところがこれで分かるというのだったならば、なるほどと理解するのだが、説明される物理的成果が、これだけのお金をかけてもやるべきかという感じがする。先ほどの話を何回聞いても、それをやるのにこのお金が本当に必要なのかというのが納得できない。私を納得させることができる説明をしていただけなのであればお願いしたい。

細谷参考人：納得させられるかどうか分からないけれども、一つ言えるのは、ILC は LHC とは違うということ。調べられることが違うということ。まず一つ、ヒッグスのほうについて言えば、ヒッグスの分をちゃんと調べるということ。それで、標準理論が本当にそれで正しいのかどうかというのはチェックする。そこはどう転がるか分からないけれどもチェックする必要がある。その細かいところは多分私は完全に理解しているわけではないが、LHC ではなかなか難しいと思う。

それと、あともう一つ。実は他にもなんか構造があるんじゃないかというのが、僕が言ったことだが、実際やってみないと分からない。さらに先ほど触れた未知の粒子を探るとい

ところで言ったのは、原理というものから考えると、今の標準理論というのは不完全で、そこをどういうふうに克服するかというので、一つの考え方として、例えば余剰次元とかそういうのがある。それは単にいい加減にそう言っているわけじゃなくて、理論的には、今日はここでは何も言っていないけれども、ゆくゆくはひも理論とか、そういうものでないと重力まで含めて説明できない。それは理論的には分かっているけれども、そういうひも理論というのは非常に特殊で、2つの要素がある。一つはわれわれの時空の次元が4次元ではなく、10次元とか11次元とかでないとうまく理論がつかれない。それともう一つ、絶対に超対称性が要る。今のところ、ひも理論は現実の世界とは全く結び付いていない。けれども、現時点でいろいろ調べてみると、このヒッグスのセクターの不完全性というのが、実は余剰次元のほう、時空の次元が単に4次元ではないということに結び付いているかもしれない。それは調べてみないと分からない。もしも何かそういう兆候が見えたら、それはまたすごい大変革。その一歩を踏み出すためには、ILCも一つ大きな道具になって、LHCにはできないことができる道具である。

確かに、これだけの費用を使って、そんな価値があるかと言われると、そちらのほうはちょっと説得力のある説明ができないが、非常に新しい認識、自然の認識が生まれてくるかもしれないし、われわれはそういう自然を知りたいわけで、それが将来何の役に立つとか、そういうことは考えていない。お金の額と比較されると、そこは僕はあまり答えられない。

田中委員：ものすごくお金がかかっても、みんながこれはやるべきだと思えるような、コンセンサスが取れるようなストーリーを語っていただきたい。一応先ほどの図に示されたストラクチャー（4つの力の統一）がまずある。最終的にはこれを全部説明する理論をつくるということが、多分物質世界の中でのターゲット。その後で、このときには予測できなかったダークセクターまで含めて、全体をまとめて説明するようなものへと進展していくのが自然、いずれにしても。そういう大きなトレンドが、まず少なくとも今見えている、おぼろげながらあるわけで。そういうことからすると、今コストダウンをするために250GeVまで下げたけれども、加速エネルギーというのはもっともっと高いエネルギーが必要になってくるのではないか。それとも要らないのか、これ以上高いエネルギーはもう必要ないのか。僕は必要であると思っている。プランクスケールにアクセスしようとしても、現状のコンベンショナルな加速器のテクノロジーでは届かない。だからいずれにしたって、このままやっていると、ILCで調べるというあの周辺（電弱スケール）しか多分届かないのではないか。だからそれこそ、そういうことをしていたら高エネルギー物理が衰退するんじゃないかと危惧する、逆に言うと。違うのだろうか。

細谷参考人：それは違っていて、250GeVでやって、なんかちらつとずれというか、標準理論で説明できないことが見えてきたら、それはそのときにいろんな観測をやって、方向性が決まる。先ほど言った干渉効果を見てと言ったけれども、あれは実際250GeVでそれが見

えたら、それを 350GeV にしたら、もっと効果が大きくなる。どんどん分かってきて、いろんな情報が出てくる。だから、もちろん今の加速器の技術でできるところは限界があると思うけれども、それには全く同意するけれども、できる範囲で見てやるより僕はしょうがないと思う。他の手段も使って、宇宙のこととかそういう中からいろんなことを総合して、さらに基本的なところに行こうとするけれども、物理として本当にわれわれが活着ている間に確かめられるのはここら辺である。この大統一の兆候みたいなものが何かの現象で見えるかもしれないけれども、それ以上はすぐには無理だ。

田中委員：これまで 2 分の 1 世紀ぐらい掛けて、あそこまで人間はたどり着いているわけだ。これは、ここまで加速器が発展したお陰だろう。ただ、もう今かなり行き詰っている。次のステップに進もうとすると、根本的にベースのインフラストラクチャー（加速器システム）をある意味ではアップグレードしないと、次のエンジンに切り替えないと次のところには進めない、今そういうかなりトランジェントな状況だと私は認識している。そういう意味では、現状のコンベンショナルなテクノロジーで作る最後の巨大な加速器になるかもしれないわけで、ILC が。私が考えるに、次につくるものは、違うテクノロジーを使って、次のステージにジャンプするべきだろう。そして、日本がこの ILC を進めた場合、この転換期に、過去の技術による最後の加速器をつくったみたいな話になるかもしれない。それでも、もちろんいろんなことができるかもしれないが、現在の ILC のデザインに拘らずに、その先を見据えたネクストステップにチャレンジするという選択肢はないのか。そこが非常に疑問としてある。今 LHC は動いているわけだし、LHC のハイルミノシティのアップグレードは、それはもう ILC よりは明らかに視野に入っているわけである。ILC がないとできないとさっきからコメントされているけれども、根本的なところで ILC が大きなコントリビューションをもしするのだとすれば、なぜ日本がつくらないとどこもつくらないのか、そこが釈然としない。

細谷参考人：それは多分以前のこの委員会でいろんな人が説明されていて。

田中委員：いや、そこは納得していないから。だって本当に必要ならば、別に日本が駄目なら他のところがやるというような話が出てきてもしかるべきだと思う。

細谷参考人：それは、例えば CERN でつくれるかという話で、それは原理的には別のデザインでやれる可能性はある。けれども、今は LHC をアップグレードして、さらにその次の上の加速器を考えているわけで、基本的に世界で同じものを 2 つつくる必要はないということだと思うが。

田中委員：日本がつくれば、それはもちろんいいが、日本がもしこけた場合に、もしそれほ

ど必要なものであれば、どこかが、じゃあ日本が駄目だったらわれわれがつくるみたいなことになぜならないのかということ。

細谷参考人：部分的にはそういうことも考えられると思う。ILC と同じデザインにはならないと思うけれども、いつ作るとか、そこは私の見識不足でよく分からない。

家委員会委員長：その点は、国際的には日本がこけたとは思われていないからだと思うが。関連した質問だが、250GeV のレプトンコライダーというのは、かなり微妙なところにあるような気がしている。これが 1TeV 必要だとなったら、もうこれはリニアしかあり得ないと思うけれども、250GeV だとリングでもできる、100 キロリング、例えば、100 キロメートルリングをつくって、レプトンコライダーを実際にそういうのが中国あるいは CERN で計画があると思うが、リングの場合には、そのレプトンコライダーの使命を果たした後で、ハドロンコライダーにコンバートするという明確なシナリオが描ける。リニアコライダーの場合は、もちろんトンネルを延長すればいくらでも原理的にはエネルギーは上がるけれども、250GeV の ILC で 1%2% の精度で何かずれが見いだせればいいけれども、見いだせなかったときに、つまり大体パーセントオーダーで物理が見えなかったら、次の物理はもう 10TeV よりずっと上のほうにあるというふうに判断して、それはいいのだろう。そうなること、ILC を延長しようというインセンティブがなくなるのではないかと。

細谷参考人：ヒッグスの精密測定だけに狭めるとそうなるが。

家委員会委員長：今まで、少なくともわれわれがしてきた質問は、ヒッグスファクトリーとしてヒッグス結合を精密測定すると。その結果によって次の素粒子物理の行くべき道が決まる、というのがメインであるという説明を受けた。それは多分正しいんだろうと思うが。それで、10 ページのほうで、干渉効果を使って未知の物理を探る、それにしても、未知の物理が 10TeV とかそのぐらいになれば見えないのではないか。これはどこまでプローブできるのか。

細谷参考人：例えば、これは 250GeV と 500GeV しか書いていないが、例えばこの 250GeV から 500GeV にしたら、ずっとずれが大きくなる。これだけじゃなくて、いろんな量があって。そこで言いたいことは、10TeV の新粒子とかは直接はつくれなくても、すごいいろんな細かい情報、新粒子とのカップリングとか、そういうのが分かってくる。エネルギーを上げればもっと顕著に分かる。

家委員会委員長：それは理解しているつもりではあるが、もちろん。

細谷参考人：それで、ヒッグスの精密測定は、もちろんずれが見つければ、かなり制限がついて、新しい方向性というのがだんだん分かってくる。ずれが誤差の範囲で見つからない場合は、これはよく分からない、ヒッグスだけ見ていたのではよく分からないということになる。それは何も標準理論がいいということも意味しない。だから、ヒッグス結合の精密測定だけにフォーカスしてしまうとちょっとまずいと思う。

家委員会委員長：細谷さんの見解としては、ヒッグス結合でずれが見つかる、見つからなかった場合でも、この干渉効果でもって見つかる可能性が非常に、むしろそちらのほうが大きいという考えか。

細谷参考人：そう。それで、特にヒッグスの精密測定というのは、実は 2,000 フェムトバーンインバースぐらいのデータが必要。それに対し、これは 250 フェムトバーンインバースでもこういうふうに見える。だから最初の 2~3 年で見えるはず。

家委員会委員長：これで何をみているのかがよく分からないが、何か特定の粒子。

細谷参考人：これは電子、陽電子をぶつけて、例えばミューオンペア、これのクロスセクションを測る。それでいろんなことを調べるのだが、ここでプロットしたのは単に全断面積の比だけだが、これが 1 からずれたらスタンダードモデルからずれている。それで、例えばこれでもポーラリゼーション（偏極度）を変化させれば、例えば電子を右巻きにしていくと、ずれがずっと大きくなって、これが誤差だが、それが有意にずれるのが見える。

家委員会委員長：その赤と青は。

細谷参考人：赤と青は、理論のパラメーターで、理論にパラメーターがあつて、それによって違ってくる。KK スケールといって、次のエネルギーのスケールがちょっと違ってくるが、これが青の場合は大体 7TeV ぐらいで、こっちの場合は 8TeV から 9TeV とかになる。そういうパラメーターはあるけれども、こういう風にははっきり見えてきて、もっと他のいろんな角度分布とか、そういうのを調べていくといろいろなことが分かる。実際に一つのシナリオでこうなると言っているだけで、もちろんどうなるか分からないけれども、初期の段階でこういうものを調べることはできる。実際の実験では全部データを取る。ヒッグスだけじゃない。こういう干渉効果の測定というのは LHC ではできない。

家委員会委員長：この実験には偏極がエッセンシャル。

細谷参考人：電子の偏極はエッセンシャル。

家委員会委員長：陽電子の。

細谷参考人：陽電子の偏極については、実はこのプロセスについて言うと、ここで P エフェクティブと書いてあるのは電子と陽電子の偏極の度合いで決まる有効偏極度で、実は陽電子は偏極しなくても、その場合はこれが電子の偏極度になるが、それを変えて実験をやれば、この差がざっと見えてくるはず。そういうふうにしていろいろ調べる。これをいろんなプロセス、ミューオンの場合だけ書いたけれども、他の粒子、ボトム・反ボトム対とかいろいろ調べれば、もっといろんな情報が引き出せる。こういうことは、やっぱり電子陽電子衝突加速器の強みであって、これは LHC ではできない。

家委員会委員長：具体的に、例えば今書いてある $Z^{(1)}$ とか $\gamma^{(1)}$ というのは、どんなものを想定して。

細谷参考人：ここで自分のモデルを紹介するのはちょっと気が引けるが、実はヒッグス粒子は 5 次元のゲージ場の一部で、われわれの時空は 4 次元じゃなくて 5 次元目もあるという、そういう立場で、ゲージ原理からヒッグスを説明しようという立場から出てくる。そのような高次元の理論では、必ず全ての粒子に対してカルーツァ・クライン (KK) モードというものがあり、余剰次元のほうにぐるぐる巻き付くような励起モードが必ず出てくる。その質量が大体 7TeV ぐらいになる。これは非常に大きいので直接生成はできないけれども、こういう干渉効果なら見える。LHC でもハイルミノシティー LHC でも直接生成が少しできるけれども、イベントの数がものすごく小さい。だけど、こういう e プラス e マイナスのマシンだと、この干渉効果自身が非常にきれいに見える。そういう特徴はおおいに使うべきだと思っている。これは 2 年ほど前に分かったことだが。

永江委員：余剰次元というのが粒子と絡んでいるところが、もう一つびんとこないが。余剰次元の次元数が変わったときに、そういう粒子のスペクトルとかも変わるようなものなのか。

細谷参考人：そこは詳細による。例えば、ストリング理論を聞かれたことがあると思うが、超弦理論といわれるものだが、それは 10 次元、11 次元で整合的に定義される。だけど、実際にわれわれが生きている世界で見ているのは 4 次元。その間というのはどういうふうになっているかというのはよく分かっていない。急に 10 次元が 4 次元までいって、カルーツァ・クライン (KK) モードがあるのか、そうじゃなくて、もっと段階的にでてくるのか、そこら辺はよく分かっていない。それはモデルの詳細による。余剰次元があれば、必ず KK モードといわれる余剰次元の方向に励起したモードが絶対に出てくる。その一番小さいエ

エネルギーのものが見えてくるということ。

家委員会委員長：本当に標準理論からのずれが全く見えなかったら非常に困る、ナチュラルネスの観点から非常に困ったことになるというのはよくわかるのだが、そこで人間原理にいつてしまうのかどうか、よく分からないが。例えばフラットネス問題に対してインフレーションというシナリオが出てきたような、そういう画期的なアイデアというのが出てくる可能性はないか。

細谷参考人：それは私もそう思っている。標準理論のずれがなければ人間原理にいくというのは間違っていると思う。

家委員会委員長：そこをぜひ聞かせていただきたい。

細谷参考人：単純に普通の科学者の態度として、人間原理を持ち出した時点で、科学者としては失格だと思う。ヒッグスの精密測定をやって、仮に標準理論とほぼコンシステント、実験の誤差の範囲で整合しているとなったときに、それが本当に今の標準理論のままで良いことを意味するかというと、僕はそうは思っていない。実はここで書いた理論も、今の実験データとか観測データとはコンシステントになる。その差はここで書いた微小なずれだ。そういう考え方からいくと、ヒッグスとのカップリングのずれは1%ぐらいにしかならないので、実は2,000 フェムトバーンインバースのデータを集めたとしても、ぎりぎり確かめられるかどうか分からないぐらいところである。ヒッグスのほうでは目立ったずれはないけれども、このように新しい粒子が出てきたり、その効果が見えたりする。理論的な見地からいうと、今の標準理論というのは非常に不完全だと思うので、これで終わるわけではない。実際に他の事実、例えば暗黒物質とかインフレーションとか、そういうことを考えると、今の標準理論で終わるわけがない。それがどこで見えてくるかというのは、はっきり言えないけれども、いろんな理論があり、そのどこかのきっかけをつかみたいわけだ。加速器では LHC とか ILC があり、あるいは衛星観測でいろんな宇宙のことを調べたり、重力波の実験をやったりとか、そういう方法で他の情報を得てくる。インフレーションについては、ちょっと分かりかけているのが今の状況だ。そうすると、インフレーションやら暗黒物質があるとしたら、今の標準理論のままでは絶対無理で、ちゃんとうまく組み入れないと駄目である。その組み入れ方というのは、今のところ分かっていない。それはわれわれ物理屋に対するチャレンジである。何らかの理論というか根拠があるはず。

田中委員：最も美しい対称性の話ではないけれど、美しいストーリーとしては、先生がそういう理論を構築して、このエネルギーでこれを見れば次の扉が開くみたいな話であれば、そこに向かって ILC をつくるというのは結構盛り上がると思うが。現状は、どこに扉がある

かも分からなくて、きっかけを探したいという状態。理論的な裏付けもないし、よく分からない。それで、とにかく ILC をやってみて、幾つかの可能性があって、そのどこかに引っかかったらこっちの扉、こっちの方向性、そういうちょっと混沌とした状況のように聞こえていて、もうちょっとなんかしっかりした目玉があるといいなと思うが。

米田委員会副委員長・分科会委員長：ちょっと前にさかのぼって教えていただきたいが、確か 5 年前にこの ILC の計画が最初に学術会議に出てきたときは、500GeV でやると新粒子が発見できるかもしれないし、ビッグバンの再現に向けての画期的な研究施設になるという説明だったような気がするが、資料を読むと。その説明は、5 年前にさかのぼると、今でも正しいのか。

細谷参考人：それはその後の実験の進歩で、LHC でいろんな実験をやってきて、今のところ例えば超対称性粒子は見つかっていない。5 年前はまだ多分見つかるだろうと思っていたから。

米田委員会副委員長・分科会委員長：5 年前は、学術会議は時期が早いということでストップをかけたが、その判断は適切であったということか。

細谷参考人：そう思う。

米田委員会副委員長・分科会委員長：5 年間でヒッグスが見つかって、LHC でいろんな発見があって、見直しになったと思うが。そうすると、田中委員が言われたように、一般の目から見ると、5 年前は画期的なことが起こるというから、巨額であることに何となくまだ説得力があったような気がする。今は 250 になって、ずれが見つかる、見つからないと言われても、一般の人にはそれが画期的に見えないというのが正直な感想である。もう一つは、細谷参考人はヒッグスファクトリーだけではなくて、未知の粒子を間接的に発見できることが大事だと言われたけれども、逆にヒッグスファクトリーを横において、その未知の粒子を間接的に探るということに重点を置くと、何 GeV が一番適正なのか。それは 250 なのか。

細谷参考人：それはもちろんエネルギーは高いほうがいい。

米田委員会副委員長・分科会委員長：それは 500 なら 500 のほうがいいということになるのか。

田中委員：それはそう。

米田：250によるヒッグスファクトリーが一番いいと、ヒアリングにきた先生たちが説明されていたので、私はそうかと思っていたが、それだけじゃなくて、未知の粒子を間接的に探るのも大事だという話を聞いた。そうすると、前提条件が違うのかなと思ったので今の質問をした。

【非公開審議】

議題2. 論点メモに基づく議論

- ・回答案の策定に向けて、論点メモに基づき議論を行った。

議題3. その他

- ・特になし

(閉会)