

(財)日本学生航空連盟 教育訓練部 殿
加盟大学航空部長 殿

安全委員会報告書

サブG センセーションが関わる異常運航・事故およびその防止について

2008年5月12日

(財)日本学生航空連盟 安全委員会

はじめに

昨年、学連加盟校の訓練において、ウィンチ曳航中の単座グライダーが曳航索のヒューズ切れ直後にほぼ垂直に降下、墜落するという重篤な事故が発生した。海外、国内を問わず過去数十年の間にこのような簡単には理解しがたい事故が少なからず起きている事は知られた事実である。いわゆるサブG（ネガティブG）センセーションが関わっていると言われる異常運航や事故である。

この報告書は、前述または過去の特定の事故の原因を云々するものではなく、必ずしもグライダー関係者の共通認識とはなっていないサブG センセーションおよびそれが関わる異常運航・事故とその防止対策について報告するものである。

（この報告書は学連・安全委員会が学連および加盟校宛に作成したものであるが、各地グライダークラブに共通する重要な内容を含むと考えられ、学連以外の関係者にも広く周知されることを望む。複写・転載は自由とする。ただしこの報告書がもとで事故その他悪影響があったとしても学連はその責を負わない。）

報告者

日本学生航空連盟 安全委員会

委員長 相島正敏（東海大学）

委員 井上善雄（東京大学）

小原正徳（大阪大学）

小池貴之（学習院大学）

児玉新治（九州工業大学）

津久井潤（東京工業大学）

三田村宏明（同志社大学）

森岡振一郎（信州大学）

（本文次ページ以降）

参考文献

- (1) “Sub-Gravity Sensations and Gliding Accidents” - Human Factors in Glider Accidents Involving Sub-Gravity Sensations, Derek Piggott, CFI Lasham Gliding Centre (初版は 1978 年)
- (2) “BGA Instructors’ Manual”, Section 5, Second Edition 2003, BGA
- (3) “Gliding” the British Gliding Association Manual Chapter 4, 2002, BGA
- (4) “Gliding Safety”, -Low ‘g’ sensitivity, Derek Piggott, Second Edition 1998, Knauff & Grove
- (5) “青空のダークネス”、丸伊満 滝川航空協会 “積雲” 12 号 1992
- (6) “ネガティブ G による錯覚” 相島正敏、東海大学体育会航空部 “白鷗” 11 号 1988
- (7) “再びネガティブ G による錯覚について” 相島正敏、東海大学体育会航空部 “白鷗” 13 号 1991

(1)の初版訳文（日口裕二訳）は滝川航空協会のホームページで閲覧できる

(2),(3)は英国滑空協会(BGA)から入手できる

(4)は原文および訳文（増谷一夫訳）が方向舵 99 号（1994.9）に掲載されている、また日本滑空協会 JSA インフォメーション No.77(1995.8)にも訳文（同氏）が掲載されている

(5)は北海道大学航空部 OB 会編 丸伊満遺稿集 “空の言葉” に掲載されている

(6),(7)は東海体育会航空部に保存版がある

1. 推奨事項

グライダー操縦練習または継続的技量維持管理において下記事項の実施を強く推奨する。

1.1 シラバスへのサブ G 体験の盛り込み

初めての単独飛行（初ソロ）以前に、サブ G 体験を実施すること、その事をシラバスに盛り込みそれを確実にすること。また初ソロ以前に限らず必要の都度、あるいは継続的にこのトレーニングを行なうことが望ましい。

1.2 サブ G 体験の標準実施要領と継続的トレーニング

サブ G 体験の標準実施要領および継続的トレーニングは第 2 項（および別紙 1）によること。

2. サブ G 体験の標準実施要領

2.1 インストラクター

インストラクターはサブ G センセーションに関わる知識を十分に理解し、吸収していること、また実施要領は自ら体験、習得しておく必要がある。そのためにインストラクター同士互乗で練習する事は有効である。

2.2 体験の実施時期

日本学生航空連盟の訓練シラバス（自家用操縦士レベル、平成 19 年 2 月発行）の Training Guide によると課目番号 25 に設定されている。これは必ずしも 25 番目の実技課目と考える必要はなく、練習生が飛行そのものにある程度慣れて、通常のストールを体験してから初ソロより以前に行なうことが必須である。練習生がサブ G に対し過敏であることが判った場合、十分にサブ G に対する理解と対処を習熟するよう体験を重ねるまで初ソロを実施すべきではない。そのようなことを防ぐためには、初ソロ直前ではなくあまり遅くない時期に体験を実施するのが良い。

初ソロ以降の練習生、ライセンスあるいはインストラクターでも適宜の時期例えば 1 年に 1 回のアニュアルチェックにこの体験を取り入れることは非常に有効である。特に、サブ G に過敏と思われる人には意味がある。

2.3 標準実施要領

別紙 1 に標準的な要領を示す。使用する機種や飛行環境を考慮して、実際の実施要領詳細はこれと異なっても良い。

以下、別紙 1 を基に実施要領を解説する。

- (1) サブ G 体験は目的別に 3 つのパターンに分かれている。A： ストールにおける G の変化、B： ウィンチ曳航中断後のサブ G 状態、C： 進入中のサブ G ~ 急降下、をそれぞれ体験するものである。B はウィンチ曳航を主体として練習している者にとって極めて有益な体験であり、ダミーブレークと同様、索切れ処置の一貫としても位置づけることができる。航空機曳航しか行なわない人に対しては一見不要のように思えるが、無理なくサブ G 状態を持続できるので理解に役立つ、それ故、航空機曳航だけ行なう人にも必須の課目である。

これらの課目は A、B、C の順に実施するが B と C は逆でも良い。1 回のフライトですべてを行う必要はなく、むしろ飛行前のブリーフィングとデブリーフィングを十分に行ないながら数回に分けて実施するのが良い。

サブ G 体験の過程で G に対し敏感で過剰な反応を示す練習生をみることがある。そのような人には十分に理論と実際を説明し、時間をかけて緩やかなサブ G 状態になれさせることが必要である。最終的には B1 に示すようにウィンチ曳航中断後ゼロ G で処置を行なえるようにする、またいつでも地平線を良く見て姿勢を判断することを理解させるようにすべきである。

急降下を伴う課目を行なう場合は十分な高度で実施すべきであるが、B1 のような課目はチェックポイント通過以前の高度があれば十分である。

- (2) A：“ストールにおける G の変化を体感” は最初に行なうべき課目で、急激なストールから落下する時の一瞬のサブ G 状態を体感し、後に行なう過度な下げ舵によるサブ G 状態との相違を理解するためのものである。シラバスにおけるストール体験は、通常、ゆっくり機首をあげて行なういわゆる 1G ストールで G の変化をほとんど感じないが、急な機

首上げ後のストール時の落下状態では僅かな時間体が浮くようなサブG状態を感じる。

この課目ではエレベーターアップを保持したままストールから回復できることを体験する、ただし通常の滑空姿勢になったらすぐにエレベーターを戻す。逆にリカバー途中で急な下げ舵を打つと急降下姿勢になるので注意が必要だが、そのことを体験させるのも良い、ただし十分な高度が必要である。

人によってはこの課目でサブGあるいは機首が急に下がることに対して恐怖感または嫌悪感を訴えることがある。その場合は課目BやCでどのような反応があるか注意深く観察する必要がある。

- (3) B: “ウィンチ曳航中断後のサブG状態を模擬”は、索切れやウィンチ不調などで曳航が中断した後の処置の違いによるG変化と飛行の経過の相違を体験する。B1は曳航中断時の機首上げ姿勢から、ストールすることなく滑空姿勢に無理なく移行する方法を模擬している。それは機首下げ操作時に、ゼロG程度を維持するようにエレベーターダウンにして滑空姿勢に入れることにより、物理的に最も自然で、サブGに過敏な人にも嫌悪感が少ない方法である。機首上げ姿勢からゼロGで滑空姿勢に移行すると、その間に速度が減少しているため速度はすぐに回復していない、そのことを速度計で確認してから速度が回復するまで待つことは、実際のウィンチ曳航中断後すぐに旋回してスピンに入ることを防ぐ意味でも重要である。ゼロGでの回復は英国BGAで推奨している。

B2は曳航中断後に過度な下げ舵を使い続けるとサブGから更には体が浮き上がるネガティブGになることを体験する。この課目において過敏な反応を示す人が現れることがある。例えばネガティブGを受けている時に胃が持ち上げられるような気分になって下腹部に力が入り腕にも力が入って硬直すると言ったような反応である。

最終的にはB1の課目をインストラクターによるデモだけではなく、練習生が自ら習熟するまで何回も行なうことが、緊急処置の習得の意味でも大切である。サブGに過敏な人はB2は繰り返し行なう必要はないが、B1を十分に練習して自信を持つことができる。

- (4) C: “進入中のサブG～急降下を模擬”は通常の滑空中や進入中にガストに遭遇しその時の下降気流でサブG状態になって、それをストールと勘違いしたり過剰な反応を示して急な下げ舵で急降下に陥ることを模擬する。

この課目ではサブG状態を維持できる時間はBと比較して短く、すぐに急降下姿勢になるので速度超過には十分注意する。

3. サブGセンセーションについて

3.1 サブGに関する用語

定着した定義があるわけではなく、文献によって使い分けに差があるが、航空機が地上にある時および、真っ直ぐに飛行している(物理学的に言う)“等速直線運動”の時に搭乗者が受ける重力加速度を“1G”と考え、次のような用語が使われている。

- サブ G(Sub-Gravity)： 1G より小さいG という意味であるが、それが 0G までなのかマイナスの G も含むのかは定かではない。
- レデュースト G(Reduced G)： 減少した G、これもマイナスの G を含むかどうか文字からは判断できないが参考文献(3)によると 1G から 0G までと定義している。
- ネガティブ G(Negative G)： 参考文献(3)によるとマイナスの G つまり体が座席から浮き上がる G で 0G よりマイナス側に小さい値である。背面直線滑空ではマイナス 1G である。
- ロウ G(Low-G)： 一般航空機の操縦に関する文献等ではこの用語を使っているように見える。ただしこれも低 G という意味ではあるがマイナスの G も含めるかどうか定かではない。

参考文献(1)等で Derek Piggott 氏が当初使った用語は“サブ G”であった。その後英国のグライダー操縦教本や英国のグライダークラブのシラバスでは“ネガティブ G”が使われていた。最近の教本(参考文献(3))では明確に“レデュースト G”と“ネガティブ G”をわけて図解しており、これが用語の用いかたとしては最も納得できる。

しかしながら、日本においてはサブ G がほぼ定着したとも思われ、ここであえてレデュースト G とネガティブ G を分けずに“サブ G”を両方含んだ意味にとらえることとし、この報告書の表題および記述内容に用いることにした。

3.2 サブ G センセーション

ウィンチ曳航中の索切れや滑空中のガストでは否応無くサブ G を感じる。そのような時に急激な下げ舵を使うとさらに G が減り、あるいは体が浮き上がるネガティブ G になる。急激な下げ舵を使ってしまい、急降下に陥り最悪の場合事故になる原因としては：

- 1) サブ G に対し過敏な人は不快感から体(腕など)が硬直し、腕を前に押してしまう。これは落下に対して人間が持っている恐怖感も作用しているかも知れない。
- 2) 索切れ時の機首上げ姿勢や速度抜けから、ストールする(した)かも知れないと意図的に操縦桿を押す、そうすると更に体が浮き、機首が下向きになっているにもかかわらず、ストールが回復していないと判断し下げ舵を維持し急降下が助長される。
- 3) 上記 1)は身体的なものでいわゆるサブ G センセーションと言える、2)はこれとは異なるが、心理的にはサブ G の影響とみなすことができ、これらを明確に分けることはできず、むしろ両者が複合して事故に至ることもあると考えて良いのではないだろうか。ただし、これらの事象を否定的にとらえる意見もあるのは事実である。例えば空間識失調と捕らえる考えである、現在は空間識失調の原因としてサブ G の影響はとりあげられていないが関連づけることもできそうである。

3.3 サブ G センセーションによる事故防止に必要な考え方

- 1) 急降下による重大事故の多くは垂直に近いが、場合によっては垂直をこえ、背面に近い状態で墜落している。このような状態は、急上昇ストール直後に(エレベーターの角度にかかわらず)機首が下がって落下する時や曲技飛行以外には、大きな下げ舵をとり続けた場合にしかあり得

- ない。
- 2) エレベーターの角度と機首の上下角は比例しており、たとえ急降下姿勢になった後でも中間位置に戻るか、上げ舵をとるか、あるいは手を離せば静安定により通常の姿勢に戻ることを理解しておく必要がある。
 - 3) 事故に至らずとも、インシデントを体験したパイロットから「ストールする(した)と思い下げ舵をとった、しばし急降下してから地面が目の前に見えたのであわてて機首を上げた。」「乱気流中を進入中に急降下姿勢になっていることに気付いたので機首を上げたか何故急降下になったかわからない、無意識で下げ舵をとったようだ。」という証言がある。これらは視覚により姿勢が判断できて事なきを得たものである。
 - 4) 一方、サブGに敏感な人は身体が反応して急激な下げ舵をとりそのまま腕に力が入り硬直したような状態になり、視覚で姿勢の変化を冷静に判断できなくなってしまうか、その時間も無く重大な状態に陥るものと想像できる。
 - 5) いつでも滑空姿勢を確認しておくことは重要で、ウィンチ曳航の中断後のように姿勢が変化する時でもGの変化にだまされずに地平線の位置を素早く把握すること、そのように練習することが肝要である。
 - 6) 経験や練習によってもサブGに対する敏感さを大きく変えることはできないと思われるが、サブGに敏感な人は上述したことをよく理解し、インストラクターの指導のもとに自分がサブG状態でどのような反応をするかを良く認識する、また丁寧で十分なサブG体験によりパニックに陥らないようになることである。最終的には2.3項のB1のようにウィンチ曳航中断後にも、冷静にゼロGでのリカバーができるようになれば良い。
 - 7) 過去には複座でも急降下からの死亡事故があった。急降下姿勢にインストラクターが気付いたとしても強い力で“固定された”下げ舵をひきあげることができなかったか、インストラクター自身も状況を把握する間もなかったと想像できる。
 - 8) 初ソロより前の早い練習段階でサブG体験を実施することは上記のような複座での事故や、勿論単独飛行における事故を防ぐために極めて大切である。

4. 調査報告

4.1 アンケート

安全委員会では、学連加盟各校の指導的立場にある人々にサブGに関するアンケート調査を行なった。その内容は方向舵126号に掲載した。重複を避けるため詳細は省略するが、概要は次のとおりである。

- 調査期間： 2007.8.2～2007.8.21
- 対象： 全支部加盟校の指導者クラス
- 調査方法： メーリングリスト等によるQ&A
- 回答者数： 25校、46名

● 質問と回答の概要

- 1) サブG センセーションが関連する重大事故があると認識している人は多く（95%）、自身でサブGのデモフライトを練習生に対し実施している人も比較的多い（74%）。しかしながら、サブG体験をシラバスに取り入れているクラブは58%に過ぎない。
- 2) 国内で発行されたマニュアル等でサブG 関連の知識を得た人（66%）に対し、発端となったPiggott 氏の論文（参考文献（1））等を読んだ人は少ない（24%）。
- 3) 異常な急降下事故を例にサブGの影響だと思える人は多い（80%）がそう思わない（11%）あるいは他にも複合原因があるという意見（9%）もある。
- 4) 自身がサブGに対し過敏であると回答した人は5%である。これはPiggott 氏の論文で2~5%と述べていることと良く一致する。
- 5) サブGの影響ではないかと思われる異常運航（インシデント）を目撃、あるいは身近に聞いた人は34%もいる。これらの人ほどサブGトレーニングが必要だと認識していることが多い、またはすでに自身のクラブでシラバスに取り入れているか個人的に実施している。
- 6) 選択式の回答とは別に多くのコメントをいただいた、中でも前述の異常運航に関しては、具体的な記述であることが多い。
- 7) サブGによる事故あるいはサブGが人間に与え得る生理的な現象を否定的に見る人、実感として認識していない人も少なくない。
- 8) その他このアンケートに対し非常に多くの真摯な意見をいただいた。この問題に対する関心の高さを示すものであろう。

4.2 事事故例

公式の事故調査報告書等の中ではサブG センセーションに触れたものはないが、垂直に近い急降下の後に地上に激突するなどの異常な事故として、（1945 年以降）次のような事例を挙げる事ができる。（参考文献（5）等から引用）

	場所	時期	機種	死傷	事故状況
1)	大島	不明	三田式	重傷	スロープソアリング中急降下し、スロープに激突、乱気流があった模様
2)	藤沢	1958	鳶	死亡	ウィンチ曳航離脱直後垂直降下し、そのまま墜落
3)	妻沼	1964	鷹八	死亡	ウィンチ曳航離脱直前に急降下を始め墜落
4)	生駒山	1965?	スカイラーク	死亡	航空機曳航の離脱直後、垂直降下墜落
5)	朝霧高原	1965?	H-22	死亡	ウィンチ曳航直後急降下墜落、2名死亡
6)	妻沼	1983	H-23C	死亡	初ソロ飛行、ウィンチ曳航中高度200mで雲に入り索離脱後、雲から出た時は

7)	当麻	1989	Ka-6CR	重傷	垂直降下姿勢でそのまま墜落 サーマルソアリング中突然の急降下 その後宙返りのように急上昇、急降下 等異常な飛行を繰り返し墜落、本人は 何故急降下したか覚えていない。
8)	滝川	1989	ASK13	無傷	初ソロ飛行、ファイナルターン直前 130 mから 60mまで急降下後上昇、何回か ピッチングして滑走路手前に不時着
9)	妻沼	1998	ASK23	無傷	ウィンチ曳航中、高度 100mで曳航速度 が遅いと感じ機首を下げ離脱、ストー ールした(する)と思いフルダウン、曳 航索が主翼にかぶるなどして急降下し、 その後波状飛行を繰り返し落下着陸
10)	霞の目	2007	ASK23	死亡	ウィンチ曳航中、高度数十mで曳航ヒ ューズ破断、連続的に機首下げし垂直 降下中に 180度回転した状態で墜落(事 故調査中)

4.3 異常運航事例

突然の急降下を行なったなどの異常運航は、事故に至らなかった等の理由で公式には報告されていないことが多いが、アンケート調査でいくつかの事例が報告された。4.1の5)で述べたように46人の回答者中15人(34%)が異常運航を目撃あるいは身近に聞いている。報告された事例は単に高度が高かったために事故にならなかったとは言え事故事例に近い状況であることが多い。

1件のアクシデントの陰には29件のインシデントあるいはヒヤリハットがあるとも言われており、それがこの問題にあてはまることも否定できない。

4.4 サブGに対する敏感さ

参考文献(1)では、2~5%の人がサブGに対し敏感(過敏)であろうと述べている。アンケート調査の結果でも、46人中2名(5%)が自身は敏感であると回答している、過敏とは言えなくても不快を感じる人は多いのは当然で、例えばエレベーターが下降するときにマイナス0.25Gの変化、つまり0.75Gになると大概の人は不快を感じるという。サブGを感じたときに生理的に通常の操作が出来なくなるほど過敏な人で反射的に体がこわばってしまう人もいることは事実である。

実際にアンケートに回答したうちの一人は次のような非常に貴重なコメントを出している。

- 自身は子供の頃ジェットコースターでサブGを感じると胃が浮き上がるような感じを受けそれを打ち消すために腹筋と腕にこれでもかと力が入った。ウィンチ曳航の離脱時でも不快で自然離脱した時など、不快な時間を短くするためにわざと急激に機首を下げたりした。ストールするかも知れないという不安も持っていた、そんなに押さえなくても良いと指摘され自然な方法で

離脱できるように慣れてきた。今では克服しインストラクターをしている。事故例を見ると、サブ G に敏感な人はそのような状況で腹筋と腕にかけて思い切り力を入れ歯を食いしばるといふ状況が良く理解できる。

その他アンケートの回答ではやはり数%の人がサブ G に敏感ではないかと思っていることが多い。また私（相島）自身が 20 年ほど前から学生にサブ G 体験を実施してきた経験では 30 名に一人ほど敏感な人がいると実感している。ただし、その程度は様々で体が少し軽くなる程度のサブ G で両肩をすばめる敏感な人がいれば、ゼロ G 程度（例えば 2.3 項の（3）の B1 の飛行）では正常だが、B2 のようにネガティブ G にまでなると腹筋に力が入るといふ人もいた。

ほとんどの人はなんらかの生理的影響を受ける、その程度には大きな個人差があると考えるのが妥当であろう。

4.5 統計的分析

サブ G が関連すると思われる事故がどの位発生しているか調査するためにまず事故の全体像を把握する必要がある。ここでは全国で最も発航回数が多い学連に限って調査した。正確な集計記録が入手できた 1983 年から 2006 年までの 24 年間の学連各滑空場における総飛行回数は約 85 万 7 千回、年平均 3 万 6 千回として 2007 年まで含めて推定すると 25 年間で 89 万 3 千回となる。

この間の学連内の事故総数（事故調査報告書の対象となるもの）は 22 件（内死亡事故 3 件）である。またウィンチ曳航中または直後の事故は 6 件、サブ G が関連していると思われる事故は次の 3 件である。（4.2 項と内容重複）

- 妻沼/1983/H-23C/死亡： 初ソロ飛行、ウィンチ曳航中高度 200m で雲に入り索離脱後、雲から出た時は垂直降下姿勢でそのまま墜落
- 妻沼/1998/ASK23/無傷： ウィンチ曳航中、高度 100m で曳航速度が遅いと感じ機首を下げ離脱、ストールした（する）と思いフルダウン、曳航索が主翼にかぶるなどして急降下し、その後波状飛行を繰り返し落下着陸
- 霞の目/2007/ASK23/死亡： ウィンチ曳航中、高度数十 m で曳航ヒューズ破断、連続的に機首下げし垂直降下中に 180 度回転した状態で墜落（事故調査中）

要約すると、学連内においては：

（25 年間）

発航回数	事故総数	死亡事故	サブ G 関連事故
89 万 3 千回	22 件 = 4 万回に 1 件	3 件 = 30 万回に 1 件	3 件 = 30 万回に 1 件

この集計はあくまでも学連内のものである。日本全国ではかなり異なる数値となるものと思われる。

謝辞

1983年に妻沼で発生した雲中からの垂直降下事故は衝撃的であった。当時私はPiggott氏の論文(参考文献(1))を読んでいたの、これだと思った。事故の報告を行なう学連の会議で、その事を発言したが、サブGセンセーションという言葉自体知る人は皆無に近く、組織としてこの事象を取り上げることはなかった。事故調査委員会の報告書でも同様に「雲中での姿勢保持が困難になり、異常姿勢から回復できなかった」という結論で終わってしまった。「何故か」は不明であった。

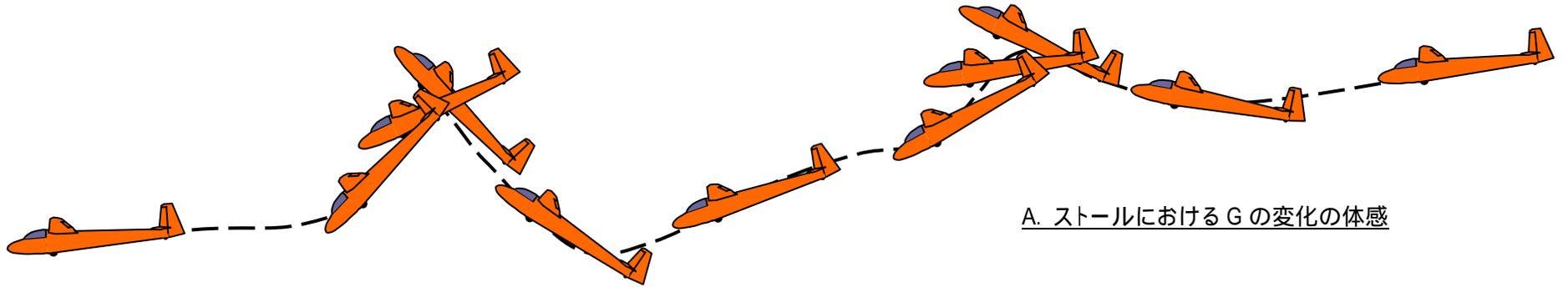
その後長い時間が経過したものの、類似の事故や異常運航があったり文献で紹介されたためか、サブGセンセーションを認知しシラバスに取り入れる団体が僅かながら増えてきた。しかしながら昨年、サブGの影響と思われる事故が起きてしまった。2005年に全国で多発したグライダー事故をきっかけとして、組織化された安全委員会として待ったなしで対策をたてなければならない、そう考えてアンケート調査をすぐに行なった。また報告書の作成を行なうことを決めた。

アンケート調査からだいぶ時間がたってしまったが、ようやくこの報告書をまとめることができた。アンケート調査には多くの人から、真摯な回答と意見、貴重な体験までもいただいた。個人レベルではこのような事はできなかったが、組織として活動したおかげで中身の濃い調査結果が得られた。学連以外の関係者の方々を含め、ご回答、コメントをいただいた皆様に深く感謝申し上げます。

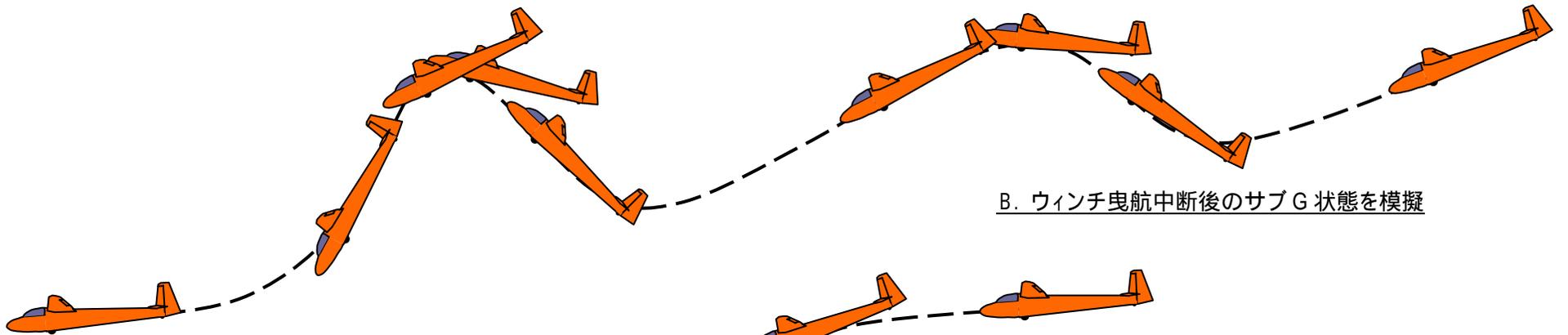
すべてのグライダー練習生が早い時期にサブGに関する知識を得、また体験することにより、30万回に1回の急降下事故がなくなることを祈って...

(相島)

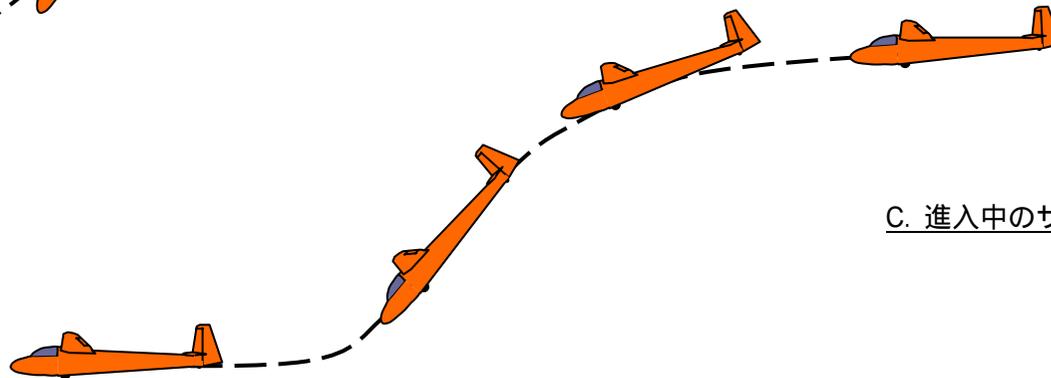
サブG 体験実施要領-全体像



A. ストールにおけるGの変化の体感



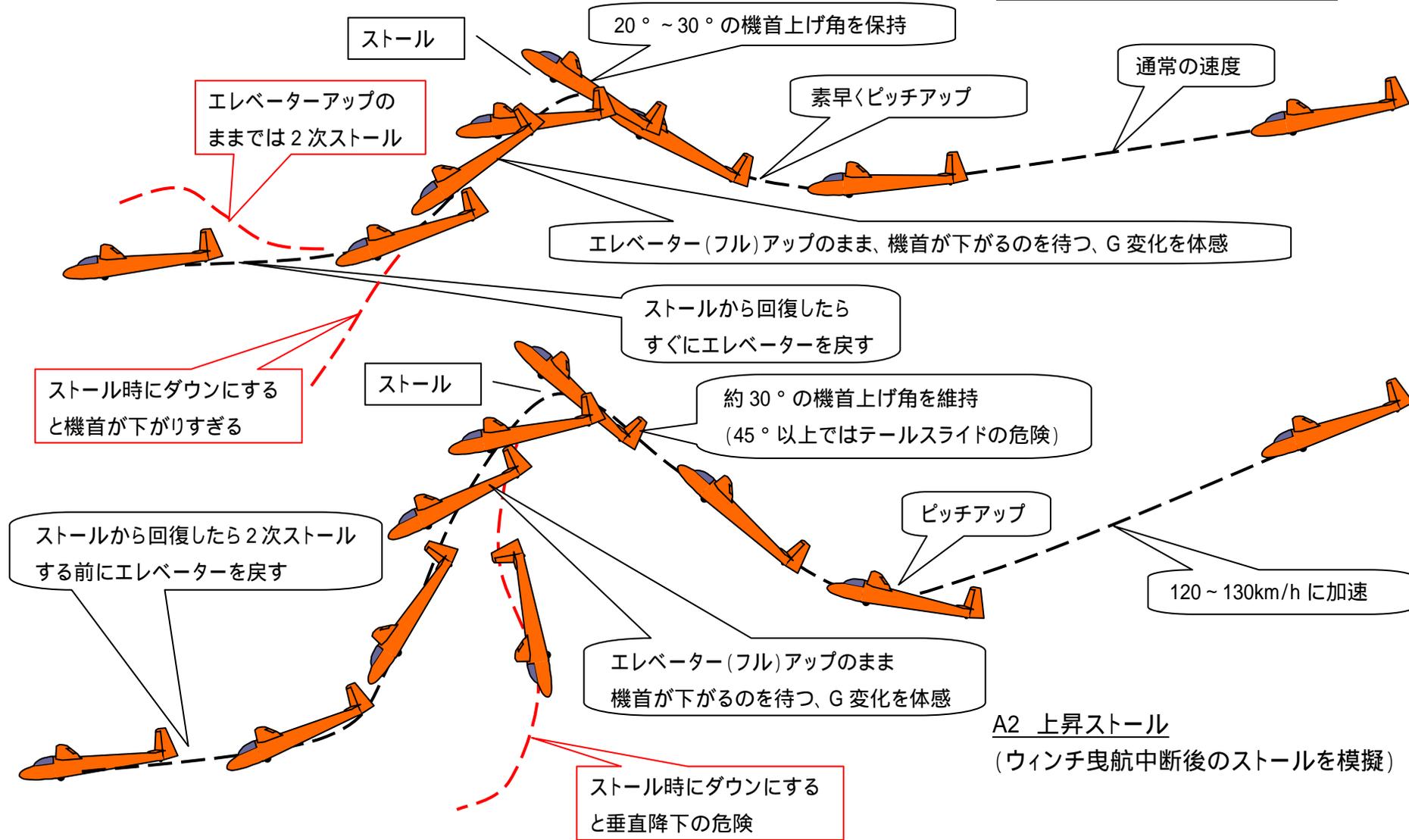
B. ウィンチ曳航中断後のサブG状態を模擬



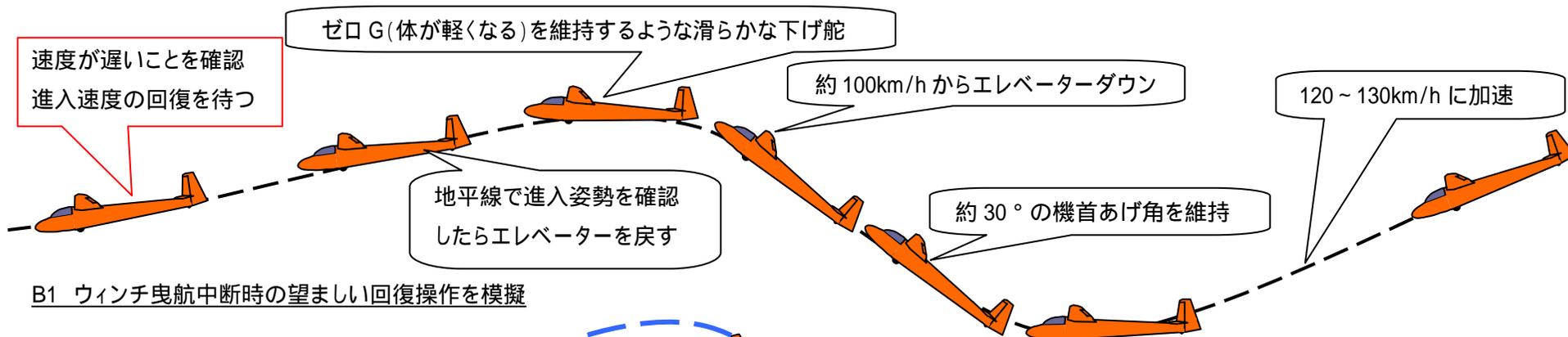
C. 進入中のサブG～急降下を模擬

サブG 体験実施要領-A ストールにおけるGの変化の体感

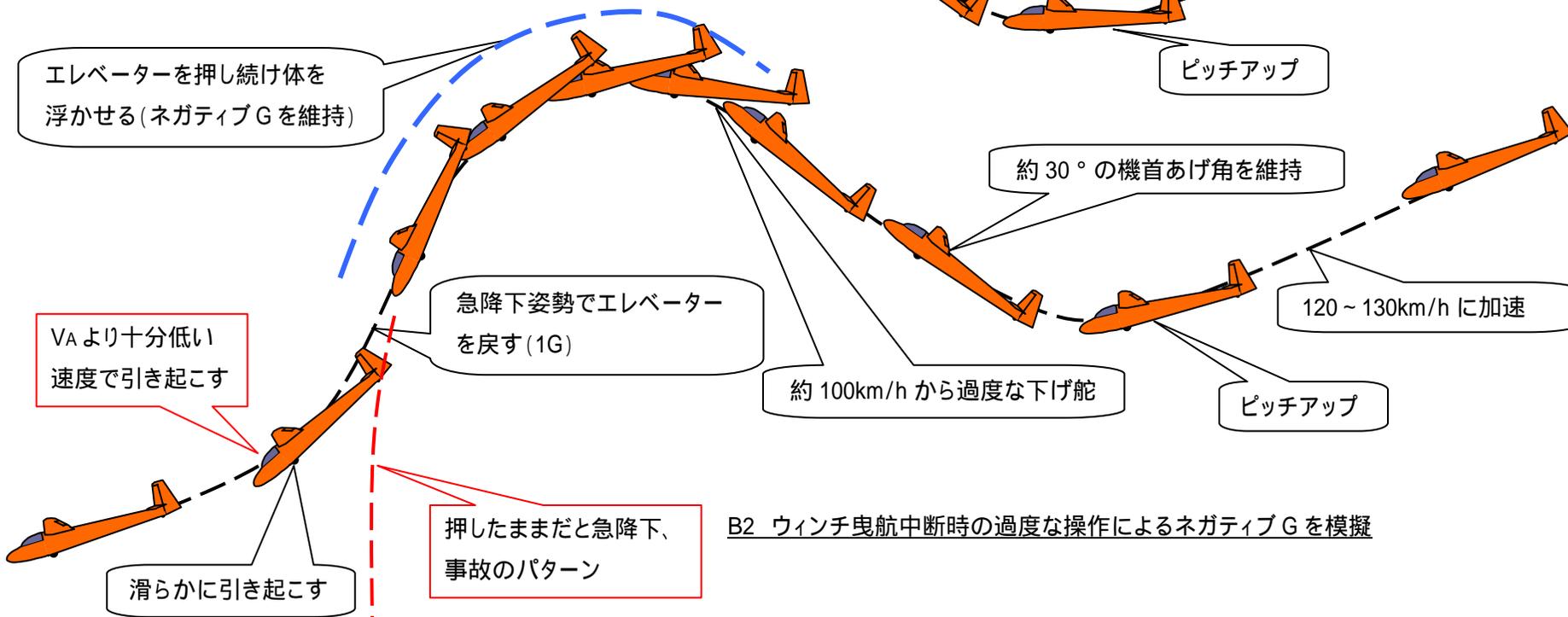
A1 通常速度からの急ストール



サブG体験実施要領-B ウィンチ曳航中断後のサブG状態を模擬



B1 ウィンチ曳航中断時の望ましい回復操作を模擬



B2 ウィンチ曳航中断時の過度な操作によるネガティブGを模擬

サブG体験実施要領-C 進入中のサブG～急降下を模擬

