

有朋自遠方來——專訪

Gerhard Huisken 教授



策 劃：劉太平

訪 問：劉太平、鄭日新

時 間：民國 100 年 10 月 21 日

地 點：中央研究院數學研究所

整 理：數學傳播編輯部

Gerhard Huisken 教授 1958 年生於德國 Hamburg, 1983 年在 Heidelberg 大學獲得數學博士學位, 其後到澳大利亞國立大學 (ANU) 數學分析中心擔任博後, 並在 ANU 數學系從 Lecturer, Senior Lecturer 到 Reader 任職, 1992 年起回到德國 Tübingen 大學擔任數學正教授至 2002 年。2002 年至 2013 年轉任重力物理 Max Planck 研究所所長, 2013 年迄今擔任 Leibniz 研究院 Oberwolfach 數學研究所所長及 Tübingen 大學數學正教授。

Huisken 教授研究領域為分析與微分幾何, 數學的廣義相對論, 特別是對均曲率流有非常深入的探討, 從奇點漸近行為到 surgery 有一系列的研究, 另外在 2000 年左右與 Ilmanen 運用反均曲率流證明黎曼 Penrose 不等式, 得到廣義相對論中 ADM 質量的下界估計, 是他最出名的結果之一。Huisken 教授是許多傑出講座或冠名講座的受邀講者, 2011 年也在台灣清華大學給過傑出講座的系列演講。

劉太平 (以下簡稱「劉」): 首先感謝你來, 我知道你非常忙。

Gerhard Huisken (以下簡稱「H」): 但我喜歡來這裡, 很榮幸受到邀請, 參加慶祝陳省身先生百年誕辰的會議, 謝謝你。

劉：也許我們可以從你帶領的團隊談起，你可以描述一下嗎？

H：這是位在柏林波茨坦的 Max Plank 重力物理研究所，這個研究所之下有三個分所，我們是其中之一；三個所共用一個可容納兩百人的演講廳，分擔某些行政工作。整個研究所約有一百二十位科學家，分為三組；天文物理，量子重力和弦論。我們這組是幾何分析和重力；因此，我們的核心工作是數學相對論，不過研究這個課題所需的數學基礎也包括在內；包括幾何、偏微分方程。我們與天文物理組的數值相對論團隊以及弦論的工作人員交流互動，因為他們有些有趣的數學模型有待探究。目前在整個研究所總數約一百二十位科學家中，我們的團隊佔了 30 至 33 人。

劉：所以現在你是這一百二十個人的所長 (director)。

H：對。事實上，我們在漢諾威有個姐妹研究所，藉由雷射干涉儀做實驗研究重力，重力波探測器是由他們負責架設營運的。目前我也是那裡的執行所長 (managing director)，因為我們合在一起是一個大的研究所。

鄭日新 (以下簡稱「鄭」)：數學家和理論物理學家一起工作，是德國的傳統嗎？

H：在我們研究所是這樣，但這並不是德國大學的傳統，通常數學和物理是分開的。這就是為什麼一所混合數學與物理的研究所這麼吸引我，我認為這樣好多了，我們花很多心思讓所裡同仁們彼此交流互動：不讓數學家與物理學家分屬兩翼，而是混在一起，而且我們有共同的研討會。這樣做不見得總能成功，但我們盡力嘗試。

劉：所以你們有兩群人：數學家和物理學家。那一群人比較難拉到另一邊去。

H：要看個人，有一些人只做自己的計畫，很難說動他們和其他人交談。但是，有一些人對於互動真正樂在其中，參與合作的計畫。所以我認為這實際上是因人而異，資深學者則可協助舉辦共同的研討會、工作坊，促進交流。

劉：你覺得自己是多少的物理學家？

H：有人這樣問我，總讓我受寵若驚，不過我受的是數學訓練。我很晚才意識到，根據丘成桐和鄭紹遠的工作，幾何流 (geometric flows)、幾何偏微分方程，可以用來證明廣義相對論的東西。所以我的研究方向來自數學，我不會真的稱自己為物理學家。

劉：但現在你確實非常投入，認為數學家學習一些物理，尤其是與物理學家一起工作是個好主意。

H：肯定是個好主意。因為你如果要看物理，就必須把不同的數學理論兜在一起。如果是在單純的數學系，可能有一個組探討概率，另一組研究相變 (phase transition)，另外有些人也許在做均曲率問題。但是，如果想解愛因斯坦方程，特別是，如果要看不同物質的模型，那麼必

須知道什麼範圍內需要考慮流體，何時需要彈性，或許有些又需要考慮隨機效應，所以必須了解不同理論之間的關係。我認為，了解數學不同領域之間的關係是未來數學的一大面向。

劉：看得出來你對目前的環境非常滿意。

H：從科學的角度來說，看到所有這些不同的面向是很迷人的。

劉：幾何、流體、彈性、物理，我只是重複你說的話，了不起，範圍很廣。

H：很廣的範圍，但在教育年輕人時，我覺得必須找到恰當的平衡；你也得找困難的問題，使年輕人可以學著證明深刻的定理，而不是每件事淺嘗即止僅僅停留在表面，對不對？有開闊的視野很好，但也必須學會辨識有意思的計畫；特別是對數學家而言，重要的是能揀擇出那些有新的數學，確實可以幫助物理學家的計畫。

鄭：你們有博士班嗎？

H：事實上我們有兩個博士班學程，一個偏物理，偵測重力波，另一個偏理論，包括弦論，幾何分析，萬有引力。這是與波茨坦大學，洪堡大學和柏林自由大學的共同計畫。我認為與大學保持聯繫是很重要的，一個與其它學術機構完全沒有關係的研究所是不好的。

鄭：德國大學學制與美國類似？

H：不，我不認為一樣，德國大學現在已經朝著學士、碩士學制走，但仍然有別於美國，譬如說免學費。

鄭：學生進入大學的時候就分好科系了？

H：是的，他們或者屬於數學系或者物理系。

鄭：大一開始？

H：是。正在緩慢地改變，但目前我們還沒有科學學士學位 (bachelor of science)，不像盎格魯-撒克遜體制，我們的是數學學位，或物理學學位，或化學學位。

劉：你談到與物理學家的合作計畫和共事團隊，讓我想起了德國過去的體制，日本也採用同樣的體制——在一個教授下面有一些副教授，一些助理教授。換句話說，教授實際上是一個團隊的領導者。但現在你所描述的是一個新的東西，已經與德國舊有的傳統不大相關。

H：不過，你必須區分大學和 Max Planck，它們是不同的。在大學裡每一個系有一定數目的教授，比如數學系，也許有 12 位教授，做的研究完全不受規範；他們有獨立做研究的權利，對資深教授不必一定言聽計從，但他們可能有非常不同的資源，有些人可能有很多資源，其他人則少得多。至於 Max Planck 我得說 Max Planck 階級分明，所長們有很大的權力，事實上大部分的權力都集中在所長們的手裡。

劉：中研院院長和院內資深人士始終在問這個問題：為什麼 Max Planck 研究所可以成就斐然？我們如何能從你們的經驗學習？而我們要問的問題之一是：在 Max Planck 研究所，永久成員的人數極少，對嗎？

H：確實，在理論導向的 Max Planck 研究所確是如此。在一百二十位科學家中，大約十位是永久聘任的。

劉：因此，接下來我們想問：沒有永久職位，你們如何能吸引優秀人才？是什麼讓他們願意加入？

H：非永久成員可能擔任同儕的博士後兩年，有人一待五年，五年以上的很少。儘管他們不用教書，但可以自願到大學授課，這就是為什麼我說，與大學維繫良好的關係很重要，他們至少可以主動獲得一些教學經驗，為自身的履歷加分。另外，要能夠匯集優秀的人才組成能舉足輕重的團隊。我認為這是所長的責任，經由聘任人才，適當的融合不同專長的科學家，營造出一個對年輕人具有吸引力的研究團隊。

劉：因此，和傳統，也與領導能力有很大的關係。

H：是的，我認為讓所長負起直接的責任，以高標準聘任合適的人，這是關鍵。

劉：其他人如何？博士後、訪問學者？

H：對，我們提供博士後職位，也有相當大的專門針對訪問學者的方案，可以用這筆款項邀請其他國家的博士生，例如，在澳洲攻讀博士學位的博士生，我們邀請他們來訪問六個月，因為我們對他們正在進行的計畫感興趣，他們也對我們感興趣。我們邀請資深人士來訪，有時停留長達三個月，我們支付這三個月的薪資。再次，我認為重要的是有適當的搭配。如果只邀請年輕人，卻沒有足以指導他們的資深學者，這樣不好；如果都是資深學者，坐在自己的辦公室，不跟任何人交談，這也不妙，所以必須要找到資深人士和年輕人之間的最佳組合，使他們互相溝通，彼此受益。

劉：因此，聘任資深學者是你的工作中很重要的部分。

H：沒錯，所長層級的聘任是由整個 Max Planck Society 來決定的，是一個非常慎重而複雜的過程。所長會議每年舉行三次，化學、物理、電腦科學、數學的全體所長集會，成立新所長聘任委員會，並作決定。事實上有時候我們必須做決定關閉整個部門，否則無權成立新的部門。因此，我認為聘任所長是 Max Planck Society 最重要的事。要關閉整個部門，有時是非常痛苦的決定，但如果我們不這樣做，政治人物會取消我們做決策的權力。

劉：我明白了，這樣很好。這是痛苦的，但制度如此，一方面你對科學界負責，另一方面你對立法機關負責，所以整體是在非常健康的狀況。

H: 只要我們任事負責, 立法機關是不會干預的, 對吧? 還有另外一個層面, Max Planck Society 的評議會 (senate), 介於行使任命權的所長會議和政治人物之間。聘任經過評議會批准後再由政治人物過目。評議會不會干涉聘任的過程, 所以聘任純粹由科學家決定, 政治人物無權啟動。

劉: 但 Max Planck Society 的評議會成員大部分是科學家?

H: 多數是科學家, 但也有些來自企業界, 有些來自政界。這是一個監督 Max Planck 的龐大組織, 但他們不做日常決策, 只負責批准核可, 在極少數情況下否決決策, 但他們也不能指名聘任某某人, 或者要求進行某某計畫。我們不希望政治人物指指點點, 告訴我們應該關閉這個研究所、應該啟動那個機構, 這些應該留給我們來決定, 這是必須小心拿捏的議題, 非常微妙複雜。

鄭: 你們獲得來自私人的捐款?

H: 有一些私人捐贈, 但我想不超過預算的 10%。至少有 90% 的預算來自政府, 一半來自聯邦政府, 另一半來自州政府。

劉: 要怎麼關閉一個部門? 所有所長開會, 然後審核, 但是關閉一個部門實際就是不再聘新人?

H: 對。通常發生在所長退休或離職時, 不過離職非常罕見。當有所長退休, 就會謹慎評估: 是否要聘任同一領域的人擔任所長? 是否要對領域稍做調整、還是大幅變動? 有時就發生這樣的事; 約 8 年前, 因為財務出了一點問題, 以及新會長上任, 我們在總數約 100 至 150 的部門中, 關閉了 8 個部門, 分屬化學、物理、電腦科學。

劉: 那真是個健康的狀況, 但不是只在最近發生的這次, 也發生在其它時候。

H: 是的, 也發生在其它年代。

劉: 在華人社會要做到這一點並不容易。我認為我們有很多東西要學, 我會報告給中央研究院院方。

H: 我應該說, 關閉一個部門我們當然非常謹慎, 不能傷害到部門中資淺的科學家或永久成員。所以關閉意味著資淺的職位持續, 直到合約到期。永久成員則加入鄰近部門, 或者遷到另一個 Max Planck 研究所, 不會被解僱。

劉: 當然, 這個體系的設計就是永久職位占的比例非常小, 這是重要的, 非永久職位的人在到職前已明白這一點, 所以大家都不會覺得意外。

H: 資淺的人在他任職的 Max Planck 研究所獲得永久職位幾乎是不可能的。而研究所內的科學家成為該所所長, 則是非常罕見, 幾乎是不可能的, 新所長幾乎都自所外聘任。

劉: 我明白了, 所以在你的情況, 你來自哪裡?

H: Tübingen 大學, 這甚至是在 Max Planck Society 之外。

劉: 你說你會回去專注於自己研究小組的 24 人, 並展開物色整個研究所所長的程序, 是這樣嗎?

H: 不, 不, 我們只是輪流。研究所裡所有的所長都是相同的, 有同樣的權利, 也都有各自的預算, 我們只是分擔工作, 所以我們協議, 每個人做兩年的執行所長。我們研究所有三名所長, 我以及姐妹部門的兩名所長, 我們輪流, 所以我做了兩年, 我的兩位同事各做兩年, 四年後再輪到我。

劉: 聽起來是個有趣的程序。在你的團隊二十四人中, 幾位是永久成員?

H: 除了我, 還有兩位。

劉: Max Planck Society 有多久的傳統、歷史?

H: 我們剛剛慶祝成立百年, 當然戰爭時期曾經中斷。Max Planck Society 的前身在 1911 年由威廉大帝創立, 納粹時期曾遭到納粹濫用, 很多人離開, 戰後重新開始, 才命名為 Max Planck Society。在戰前稱為 Kaiser Wilhelm Society。

劉: 我們正在慶祝陳省身先生 100 週年誕辰。我由衷感謝你為我們解釋這些, 我對這些特別感興趣, 因為中央研究院一直在問自己這個問題: 我們要如何努力才能像 Max Planck 研究所, 至少在某些方面能運作得像 Max Planck。歸納你所說的, 其中一個方面是我們有不同的文化, 所以即便很痛苦, 但你們能夠在認為必要時, 斷然關閉一個研究所。

H: 這會讓老教授很痛苦, 他可能覺得受到侮辱, 這是一個大問題, 因為他認為, 「哦, 他們關閉這個所, 表示我的研究不受重視, ...」所以很痛苦。

劉: 如果台灣要向前邁進, 我想我們必須要能做到這一點, 否則不能另組新團隊, 對不對?

H: 對, 對。

劉: 並且要另外形成一個團隊, 其中大部分職位必須是臨時的。

H: 我承認, 對一個純粹研究的機構, 如 Max Planck 或中央研究院, 這樣做造成與頂尖私立大學競爭時的一個困難。在我任上發生過一次, 我們提供非常好的 5 年工作, 不錯的薪水, 副教授級, 但我們競爭不過 MIT, 因為 MIT 提供終身職, 而我們無法提供終身職, 所以我們討論過是否應該為極少數的科學家提供終身職, 以免在爭取人才上不敵。這是一個困難的問題。你看 MIT, 作為一所大學, 他們可以承擔任用終身職的風險, 因為如果 15 年後此人表現平庸, 可以要求他多授課。但在不用教學只需做研究的 Max Planck, 在給與年輕人終身職時一旦犯了錯, 錯誤將會是永久的。

劉: 這樣一來弄得大家都不高興。也許我們可以轉換到稍微個人化的話題。當你成為所長, 你必須督導事情。你指出做研究, 開始的時候, 不可避免地必須從特定領域入手, 要有焦點而且

或許領域窄小。在另一方面，你也指出，應該要有廣闊的視野，但不要浪費自己的時間在膚淺的事物。這似乎說比做容易。你對大三/大四或研究所一年級的年輕人有何建議？

H: 要追求這兩方面，我建議，試著在第一年內找到一個自己可以動手做一些事的好計畫，做一些計算，嘗試一個小問題，然後閱讀，當然還要知道這個領域過去五年中最重要的論文，研究這些東西，也許自己立即嘗試一個計畫，越快越好，然後還要聽演講，參加研討會，有時會有為期一周或兩周的暑期學校，參加這些學校，學習不同的東西，請教資深的人如何適當地融合這兩方面。

劉: 這是非常具體的建議。你還讓我想到，一個機構應該為年輕人提供這樣的環境。教授們應該鼓勵年輕人去尋找一些計畫，也許很小，也許完全不切實際，但要鼓勵他們這樣做。

H: 不只是看別人已有的成果，也要自己動手嘗試。

鄭: 數學之外，你是否還有其它感興趣的東西？

H: 我對物理感興趣。我個人對音樂很感興趣，我業餘彈鋼琴，我喜歡閱讀，還有對我來說家庭是第一順位，然後是科學，接著才是其它。

劉: 你在幾何分析有根本的貢獻，依你之見，這個領域目前的狀況如何？

H: 我認為，在過去 50 年，由於分析的重大突破，譬如 De Giorgi¹、Nash²、調和映射 (harmonic mapping) 的正則性理論、最小曲面等等，我們可以使用最小曲面、調和映射、常均曲率曲面等結構來探討流形 (manifolds)、微分幾何結構，這些以前只能用常微分方程，測地線，測量角度來探索，但現在由於對非線性偏微分方程有足夠的理解，已經可以用這些作為理解微分幾何結構的工具箱。我認為，這才只是開始，未來可以做的更多，尤其是我覺得橢圓方程和拋物線方程的理論，(Ricci 流就是一個很好的例子)，在分析和幾何的新聯結裡已成為極好的工具。至於雙曲型偏微分方程，我認為更難，需要更多的時間，不過最終，許多雙曲型方程解演化 (evolution) 的結果將被應用到微分幾何，當然，愛因斯坦方程就是第一個也是非常困難的例子。

鄭: 你是如何與 Tom Ilmanen 開啟逆均曲率流 (inverse mean curvature flow) 的工作？

H: 在 70 年代和 80 年代，關於如何用水平集的方法 (methods of level set) 處理均曲率流 (mean curvature flow)，以及如何建構通過奇點的弱解 (weak solutions)，已有許多結果為人所知。逆均曲率流最初是由物理學家 Geroch 和 Jang 提出；他們說，一旦能得到逆均曲率流的解，就會有一個工程浩大的計算，聯繫起黑洞視界 (horizon) 面積和漸近平坦空間在無窮遠處的質量，描述出一個孤立的系統。但他們無法證明在一般情況下得到一個

¹Ennio De Giorgi (1928~1996)，義大利數學家，研究偏微分方程及數學基礎，曾獲沃爾夫數學獎。

²John Forbes Nash Jr. (1928~2015)，美國數學家，主要研究賽局理論、微分幾何學和偏微分方程。2015 年獲阿貝爾獎。

平滑解，你不會指望一般情況下有平滑解。在與 Ilmanen 合作前，Ilmanen 已經在均曲率流的弱解方面做了重大的工作，而我在廣義相對論的專業知識加上 Tom 在弱解的理解，結果，可以將均曲率流的水平集方法應用在逆均曲率流造出弱解，並且仍然保有物理學家觀察到的單調性 (monotonicity)。

鄭：你在什麼機緣得知物理學家的看法？研討會？

H：是丘成桐，他對我說：「你應該閱讀這篇論文，有一個有趣的流 (flow)，你不妨看看？」是丘先生建議的。

劉：你還提到流體 (fluid) 和彈性 (elasticity)。是不是有個從幾何分析到流體、彈性，自然的分支？

H：我們研究所裡的天文物理學家感興趣的一個大計劃，也是漢諾威的姐妹研究所感興趣的，就是探測重力波，因此漢諾威正在興建雷射干涉儀。他們也有一個大數據分析小組，他們必須事先知道正在尋找的是什麼、想要檢測的重力波呈現什麼形狀。為此，我們研究所的天文物理學家試著模擬產生重力波的現象；這必定是宇宙中大規模的重大事件，譬如巨大的黑洞碰撞，高密度中子星 (neutron stars) 的碰撞，或者一些中子星被黑洞吞噬，所以他們必須研究這些問題。又譬如在中子星內有流體，有一個非常複雜的狀態方程，中子星有彈性的外殼，你想要了解它如何與黑洞或其它中子星互動。由於場非常強，密度非常高，不能將事件方程與幾何脫鉤，兩者都需要，因為時空的強烈扭曲，需要微分幾何的方法，但是還需要了解流體方程，需要了解兩者之間的耦合 (coupling)；甚至可能還有與電磁的耦合，因為可能存在具有巨大磁場的脈衝星 (pulsars)、旋轉的中子星和伽瑪射線爆發...

這是天文物理學家從實驗計算的觀點出發進行的工作，數學家必須慎重地選擇出可以證明一些東西的計畫。在強場範疇 (strong field regime) 下，要證明這樣複雜的耦合系統存在長時間的解，當然是沒有希望的。

劉：分析可以指出某些事情應該發生，某些事情不可能發生，分析有這樣的功能。

H：正是。譬如，針對他們的數值計算，我們可以幫忙找到一個好的 gauge (量規)。我認為這是數學家的一個實質貢獻，教物理學家如何選擇一個具有幾何意義的好 gauge、好坐標來做數值計算。如果沒有一個好的、在幾何上自然的 gauge，他們的演算法就不會穩定。

劉：某些不變量應該保持數值不變，否則誤差積累，就不妙了。這些做數值的人和做物理的人會傾聽彼此？

H：嗯，我覺得在我們的研究所是這樣的，但是這事必須小心地教導年輕的科學家，因為物理和數學有非常不同的文化。在物理這邊，做實驗需要一點技術，憑藉經驗創作演算法，對不對？需要這樣來測試問題等等。而在數學這邊，要證明誤差的估計等等。人們必須明白，兩者都

是有用的, 重要的, 而且是不同的。

劉: 有沒有什麼情況, 實際上需要由所長出馬牽成兩方?

H: 我認爲, 在資深的階層, 所有的所長都有這種信念、這種觀點。

劉: 感覺這真的不是只牽涉到物理和數學。我自己正在進行小小的嘗試想做動力學 (kinetic theory), 我可以看出這是非常困難的, 問題不見得在我們有不同的語言, 不同的分析等等, 而是我們也有不同的目標。我曾和做橢圓方程的資深學者合作, 他非常聰明。他的興趣是做深度的分析, 而我感興趣的是物理現象。我必須說, 這個計畫沒有讓他有足夠的成就感, 其中的分析對他而言深度不夠。我漸漸覺得自己不應該花太多功夫拉資深學者參與, 我轉而專注於年輕人。

H: 沒錯, 但即使對年輕人, 我認爲數學文化裡, 就是允許年輕人有很多自我發展的自由。過去曾發生在我身上, 我要求一個年輕人和數值分析專家合作一個計畫: 所以你應該學分析, 接下來該處理數值, 以及做大型模擬。於是學生就開始了, 6 個月之後, 告訴我: 「我覺得估計更有趣, 我想把重點放在分析的工作, 我不想寫任何程式。」我覺得, 在數學文化, 很難對他說不行, 你應該做這做那; 而在物理文化, 當他們進行大型的計算計畫, 這是很正常並且被接受的; 他們告訴參與計畫的人, 你的工作就是將演算法平行化, 你的工作是計算初始數據, 你的工作是黑洞視界的模型, 這就是你的計畫, 你必須做這些。

劉: 這是困難的。這讓我想起關於米開朗基羅的故事。教皇對他說: 「爲陵墓構想的五十個左右的雕塑, 就算了, 你去畫天花板吧!」米開朗基羅很不高興, 他不認爲自己是畫家, 他說: 「我是做雕塑的。」但是看看西斯汀教堂的天花板是多麼壯麗。那不是出於自願去畫的, 教皇說: 「如果你肯畫, 我給你黃金。」

H: 是的, 讓我們找到平衡點。

劉: 我還發現, 那些在大學主修物理或主修工程, 後來轉換到數學的人, 都特別對分析感興趣, 因此, 其中一些人實際上已經完全放棄物理或工程。這些日子你專注研究什麼?

H: 嗯, 就是我今天早上的演講想談的。我探究均曲率流, 這是一個計劃, 了解奇點, 長期目標則是在非常弱的曲率條件下, 了解均曲率流的奇點。因此, 我和 C. Sinestrari 合作, 著手於 two-convex (雙凸) 曲面流, 並證明存在手術演算法 (surgery algorithm), 非常相似於 Hamilton³ 和 Perelman⁴ 在 Ricci 流的工作。問題是 two-convexity 的條件可以放寬, 讓奇點看起來像一片片氣泡, 這在 Ricci 流的情況, 就像是在四維中放寬曲率條件, 而且有一片崩場的二維球面 (a sheet of 2-spheres collapsing)。那麼, 我們是否仍然可以

³Richard Hamilton (1943~), 美國數學家, 哥倫比亞大學數學教授, 對微分幾何特別是幾何分析貢獻卓著。以發現里奇流 (Ricci flow) 爲人所知。

⁴Grigori Perelman (1966~), 俄國數學家, 在黎曼幾何和幾何分析上有劃時代的貢獻。

得到奇點的完整分類？是否可能對這些二維奇點集合施行手術 (surgery)？這是一個很長期的計畫，需要大量的估計。我與 Sinestrari 合作，嘗試逐一得到各個估計，而目前獲得的估計，已讓我們能夠對均曲率流的某些 ancient solutions (古代解) 進行分類。ancient solutions 是我們與物理學的另一連結。從物理學的角度看，均曲率流和 Ricci 流都與重整化群流 (renormalization group flow) 以及讓某些量子場論平滑化相關聯。物理學家的興趣是讓時間倒回到負無窮大，因為這樣可以得出原始的量子場論。而到目前為止，數學家則大多致力於讓時間往前推進，因為這樣會讓流形平滑，使流形更好。

事實上，如果注意一下這些解，要求在時間一路倒退，直到負無窮大這段期間解一直存在，單單這個條件就讓解的性質受到很大的限制，因此可以嘗試將這些 ancient solutions 進行分類。

劉：這是很自然的，因為生命不是從今天開始。

H：對，過往長久的歷史，限制了我們今日所見。研究這些流的奇點時 ancient solutions 也自然地出現，因為如果對奇點進行重新縮放 (rescale)，將得到某個 ancient solution，所以你希望能將 ancient solutions 分類，進而能對奇點進行分類。

劉：下週你將給一系列演講，非常感謝你來。希望你下次抽空再度來訪時，我們不會再讓你那麼辛苦；台灣有些有趣的東西值得一看。

H：非常感謝你，在這裡非常愉快。我真的很喜歡昨天你在博物館裡為我做的解說。

劉：非常謝謝。

—本文訪問者劉太平及鄭日新任職中央研究院數學研究所—