第32卷 第2期　　气 象 学 报　　Vol. 32, No. 2
1962 年 6 月　　ACTA METEOROLOGICA SINICA　　June, 1962

近年来国外关于太阳活动对大气环流和天气影响的研究*

楊鑑初
（中国科学院地球物理研究所）

提　　要

本文綜合介紹了十余年来国外关于太阳活动影响对流层环流和天气的研究工作．首先說明太阳表面及太阳大气的結构、太阳活动的定义以及引起太阳輻射改变的一系列太阳物理过程．然后重点介紹太阳活动影响大气环流和天气方面的某些主要研究結果．并指出太阳活动影响天气的几种可能机制．最后，本文認为这个問題的进一步研究，将会对天气預报等方面作出有益的启示．

一、引　　言

根据最近人造地球卫星的探測，証明太阳的粒子流輻射散布于行星际空間．在距离地球 15—36 倍地球半径的行星际空間，平靜时每立方厘米內約有十个粒子的所謂"太阳风"，其速度为每秒三十仟米．当太阳上出現一次強烈色球爆发的前后，該处粒子流密度大为增加，很可能太阳风是以陣性状态出現．今年 3 月間（1961 年）探险者十号人造地球卫星測定該处磁場強度最小时为 5 γ，在太阳色球爆发（III 級）前后磁扰在 5—40γ 范围內跳动，有时在几秒鈡之內磁扰达到 20γ．由此推断出太阳风的陣性变化[1]．粒子流侵入地球高层大气后，引起明显的极光，并在电离层和地磁場引起显著的扰动．至于太阳电磁波輻射強度的变化，已經科学工作者測量和研究了数十年．例如以毕生精力研究太阳常数改变的 C. G. 阿波脫（Abbot），分析出太阳輻射強度具有 23 种周期性变化，基本的周期則为 272—273 月（22 $\frac{3}{4}$ 年）[2]．太阳黑子的仪器观測也已經有二百年以上的記录，太阳黑子数量的各种周期变化久已被人們所公認[3]．

近十余年来由于火箭在高层大气中对太阳輻射紫外綫部分的观測，以及射电望远鏡对太阳无綫电輻射米波和厘米波段的測量，現在人們对于太阳輻射的組成及其在短波部分和无綫电波部分的变化逐漸获得了解，对于引起太阳輻射发生变化的一系列太阳物理过程也有了更加深入的認識[4—6]．事实証明，地球高层大气的各种物理变化与太阳上的物理过程密切关联[7]，一門新的科学即日地物理学正在建立与发展．对流层大气环流与天气的演变，由于太阳輻射变动究竟受到多大的影响，也就成为日地物理学和气象学中研究的对象．这方面的研究成果不仅可以丰富大气环流理論的內容，而且对于天气預报特别是中长期天气預报可以提供根据，使它逐漸得到改进，为国民經济建設服务．

* 本文 1962 年 2 月 28 日收到．

本文企图介紹国外十余年来这方面研究的一些主要成果. 由于作者学习面不广，遺漏之处一定很多，甚至可能有理解錯誤之处，敬請閱者加以指正.

二、太阳大气結构和太阳活动

太阳上一系列物理过程的演化，使得太阳在电磁波輻射与粒子流輻射方面随时間发生一定的改变，此类物理过程总称为太阳活动. 我們看到的太阳发光圓面称为光球，光球是由大量发光的微小斑点所构成，这些发光斑点称为米粒，光球表面的这种顆粒状态称为米粒組織. 每个米粒的存在时間一般不过几分鈡，米粒是处在不断的生成与消失的过程之中. 每个米粒的长度一般在几百仟米左右，整个光球面上米粒总数当以万計[6,8].

光球上还有黑子与光斑. 太阳黑子是光球面上的涡旋运动，它的大小变化范围很大，黑子的温度一般比光球温度約低 1000°K. 太阳黑子的数量及其在光球面上的分布有明显的周期性变化. 太阳黑子并具有明显的磁場，各个黑子的磁极表現出有規則的变化. 太阳光斑是比太阳大气温度更高的云状組成部分，温度比光球层高几百度，光斑內的原子比光球中的激发程度也高.

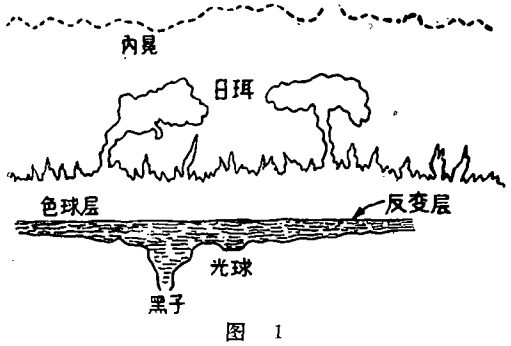

图 1

光球以上太阳大气层主要分为三层，即反变层、色球层与日冕(图 1). 反变层厚度不大，約在 500—1000 仟米. 太阳光譜中的傅琅和弗譜綫几乎都是在反变层中产生的. 根据太阳光譜可以确定反变层的成分，已經发現有 65 种以上的化学元素存在于反变层中. 色球层在反变层之上，主要由氦、氫、鈣和鎂的气态物质所构成，厚度达 15000—20000 仟米. 从色球层中时有火焰状的噴出物，称为日珥. 日珥气体的垂直速度达到几百仟米/秒，可以射出太阳面几十万仟米，甚至可达 100—200 万仟米. 日珥分为噴射状和云雾状两类，亦称爆发日珥和宁靜日珥. 日珥的运动方向一般受到太阳磁場的控制.

色球层中时常在黑子附近迅速出現极亮的发光云，称为色球爆发，或称耀斑. 耀斑的生存期一般不过几分鈡到 1—2 小时，是一种类似于爆炸的現象，伴生大量紫外綫輻射与粒子流輻射.

日冕在色球层之上，是一种銀白色的光輝，分为內冕与外冕两部分. 內冕靠近太阳，是由气体和自由电子所构成. 外冕是由极微小的固体质点所构成. 日冕伸展空間有时可达太阳直径[1)]几倍之远. 日冕光譜中有几条譜綫比較明显，日冕部分的温度奇高，达到一百万度[8].

所謂太阳活动主要就包括下列四个方面[9]: 1)太阳黑子的頻率，它在日面的分布，个别黑子的結构及其生命史. 2)与黑子相关联的光球和色球层状况，包括光斑、色球的微結构、色球爆发及其紫外綫与无綫电頻率带的輻射、粒子流的輻射. 3)日珥的大小形状及其

1) 太阳直径等于地球直径的 109 倍，等于 1,390,600 仟米.

演变. 4)黑子上端日冕的扰动. 所有这些現象的組合成为太阳活动的一个单元. 太阳活动是研究太阳物理的主要內容之一,并成为日地物理学的基础.

三、太阳活动与地面气象的关联

研究太阳活动与地面气象要素的关联，过去大都以全年或逐月平均太阳黑子相对数(伏尔夫数)[1)]作为太阳活动的指标,来寻找与地面气压、温度、降水等气象要素之間的关系,这类工作很多[10]. 至于用逐日黑子相对数来研究它与气象要素之間关系的工作就比較少一些. 近十余年来,由于对太阳活动的了解逐步深入,表示太阳活动的指数除黑子相对数之外也有了許多新的研究[11,12]. 例如太阳色球爆发的頻率与強度、日冕特定譜綫輻射的強度变化、太阳无綫电頻率带輻射強度的扰动、地球磁場与电离层的扰动、极光出現的頻率与形态等等皆可以作为反映太阳活动強弱的指数. 因此应用这些新的更加具有代表性的太阳活动指数来研究它与地面气象要素之間的关联，成为近十余年来此类研究的主要趋向之一.

1948 年斯密松研究院发表了杜尔(B. Duell 和 G. Duell)[13] 的工作，杜尔应用地磁資料来代表由于太阳粒子流輻射变动所引起的电离层扰动，研究它与地面气压逐日变化的关系. 又用太阳色球爆发的資料来代表強烈紫外綫輻射侵入地球大气的指标，并用太阳面上鈣譜斑[2)]的特性数值来研究它們与地面逐日气压变化的关系. 杜尔的研究結果十分明确,着重以每天的資料作为相关处理的对象,这种做法近十年来各国的日地物理学工作者都在普遍采用. 現在我們先来介紹这項工作的成果.

杜尔应用 1906—1937 年时期內根据全世界 50 个左右地磁台观測資料所制定的国际地磁指数,每月取出磁扰最強的 5 天和磁場最为平靜的 5 天. 这样每年皆可以取出 60 天磁扰日和 60 天磁靜日. 把这两类日期分别作为关鍵日期,研究其前三天到后十一天內西欧九站(皆位于北緯 45°—55°, 东經 5°—30° 范围內)逐日地面气压的变化. 采用重迭时序分析法进行計算[14]. 即以所有的磁扰日(或磁靜日)作为关鍵日(0 天)，求所有关鍵日的各站日平均海平面气压,再按次求关鍵日前一天(－1 天)至前三天(－3 天)及后一天至后十一天(＋1……＋11 天)各站的日平均海平面气压. 再把研究时期按太阳活动強弱分为两类，凡太阳黑子年平均相对数 ＞ 40 的年份定为一类，≤ 40 的为另一类. 又按双数年份和单数年份也可把研究时期分为两类. 此外杜尔并按地磁学中的习慣把一年分为三季来处理，11—2 月为冬，3—4 月加 9—10 月为春秋，5—8 月为夏.

根据杜尔分别处理的結果,发現在太阳活动較弱的一类年份中(共計 16 年,即1910—1914, 1920—1924, 1930—1935)的冬季四月，在磁扰日和磁靜日前后的气压变化表現出明显的相反趋势(图 2). 九站气压在磁扰日之后皆先降而后升,在其后第 3 天气压最低；而在磁靜日之后九站气压皆先升而后降,在其后第 3—4 天气压則最高. 杜尔以磁扰日前后逐日气压减去磁靜日前后同日气压,則得图 3. 此图更加明显地反映出气压的差异,在关鍵日之后第 3—4 天气压差最大达到 2.6—3.2 毫巴. 杜尔并把这 16 年資料分为单数年

1) 黑子相对数 $R = K(10g + f)$, 其中 K 为訂正系数,視各天文台观測仪器及观測条件而定，g 为太阳面上黑子群数，f 为黑子个数.

2) 以鈣綫或氢綫单色光拍摄太阳圆面所发現的块状或条状結构称为鈣譜斑及氢譜斑.

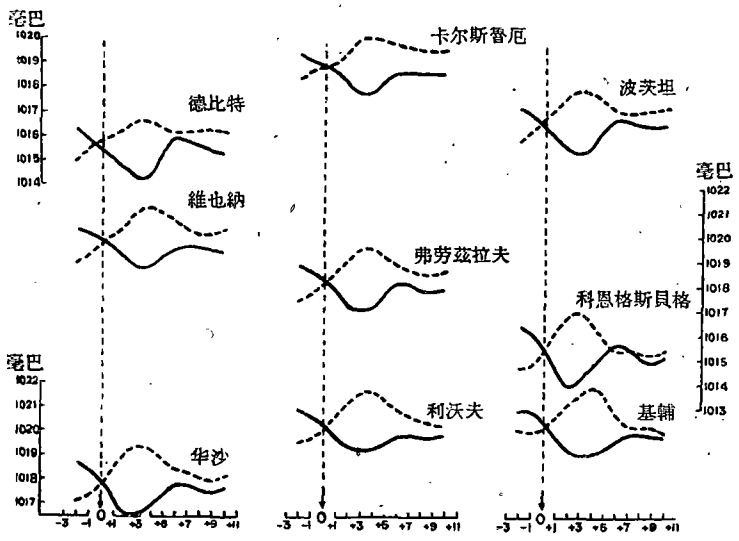

图 2

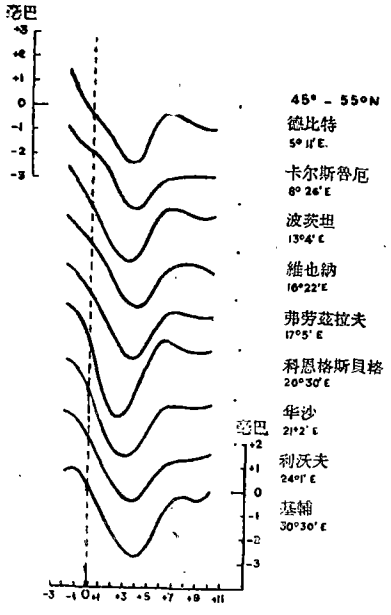

图 3

及双数年处理，以及其他任意分段处理，都得到同样的結果，証明这种对比关系在太阳活动較弱年份的冬季是确实存在的.

杜尔为了进一步寻找这种气压变化的区域分布，他們又增加 17 个台站(共計 26 站)的資料，先作出上述 16 年冬季四个月的平均气压图(图 4)，然后把磁扰日前后逐日平均气压对图 4 求气压偏距，作出逐日气压偏距图. 图 5—9 便是从这套图中挑出的一部分. 从图 5 可見，在磁扰日前一天的气压偏距一般还很小，到其后一天(图 6)冰島附近的正偏距已达 2 毫巴以上，而西北欧的負偏距也达 1.5 毫巴以下. 其后 3—5 天(图 7—8)可見正負偏距区域皆向东南方推进. 到其后第 7 天(图 9)偏距值又大都消減.

杜尔又应用 1936—1941 年期內 51 次強烈太阳色球爆发的日期作为关鍵日，研究其前后各日西欧某些台站的海平面气压变化. 挑出的关鍵日限于出現Ⅲ級和Ⅱ—Ⅲ級的強烈色球爆发[1]日期，并在其前 5 天內未出現过同等強度的色球爆发者. 研究方法与图 2 中所用的方法相同. 結果发現在关鍵日之后第 2—6 天气压升高，并在第 4—6 天升达最高. 这种气压升高不仅在冬季半年(10—3 月)如此，而且在夏季半年(4—9 月)也如此. 第 2—6 天內气压变化的振幅在冬半年較大，約达 3—4 毫巴；夏半年較小，在 1.5—3.0 毫巴之間. 在 51 次关鍵日前后北緯 45°—60°、西經 10°—东經 20° 地区內逐日平均气压的变化，也表現出同

1) 太阳色球爆发的強度一般分为三級，I 級最弱，III 級最強，以爆发区域面积的大小及其維持时間长短而定.

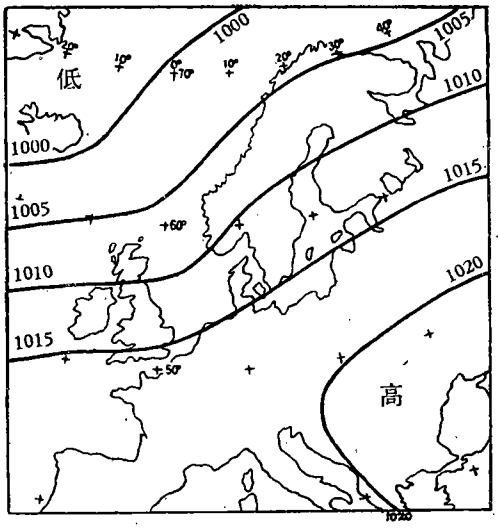

图 4

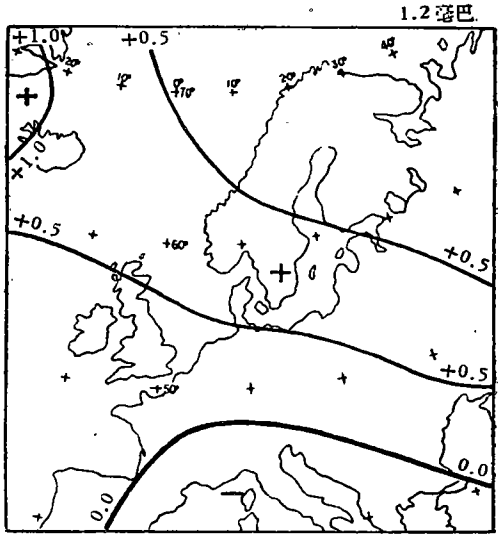

图 5

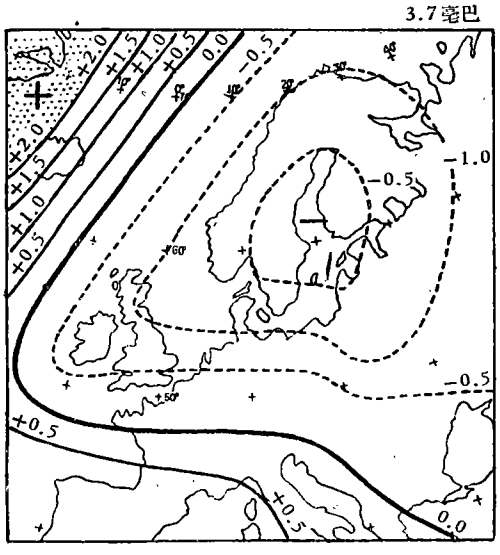

图 6

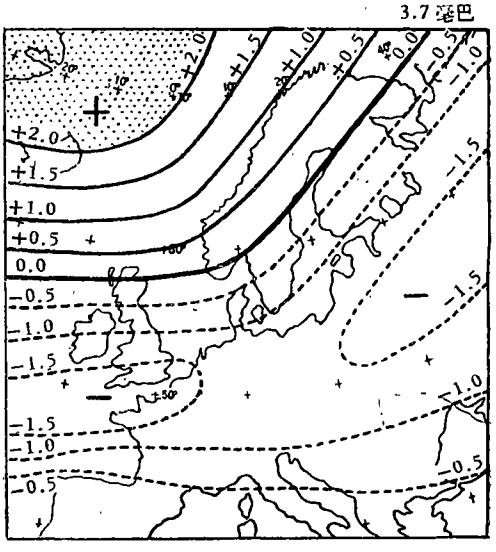

图 7

样的結果.

杜尔还应用 1936—1941 年期內整个太阳面上的鈣譜斑資料研究与 A. M. 佛郎克福(Frankfurt)单站日平均海平面气压日际变化之間的关联. 在此 6 年中挑出該站日际气压变化 ≧5 毫巴的日期作为关鍵日. 日际減压 ≧5 毫巴的关鍵日共計 101 次,日际增压 ≧5 毫巴的关鍵日共計 121 次. 仍用重迭时序分析法計算关鍵日之前 11 天到之后 6 天的鈣譜斑特性数的变化. 結果如图 10 所示. 杜尔仍分别用全年、冬夏半年以及前后分成两段时間(1936—1938 年太阳活动增加时期和 1939—1941 年太阳活动減弱时期)来处理. 从图 10 可見冬半年和夏半年的情况十分类似,而在前后两段时間的情况也很类似. 同时在日际減压和增压两类关鍵日前后的对比关系一致都很清楚. 在日际增压之前 3—5 天鈣

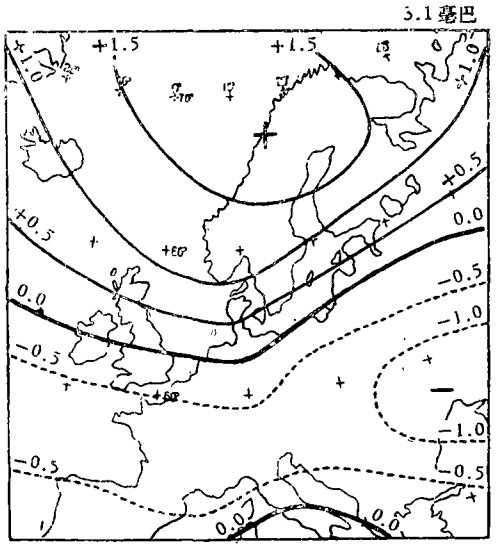

图 8

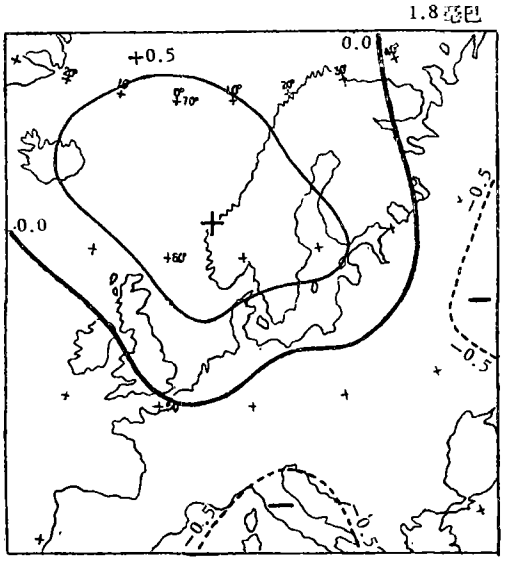

图 9

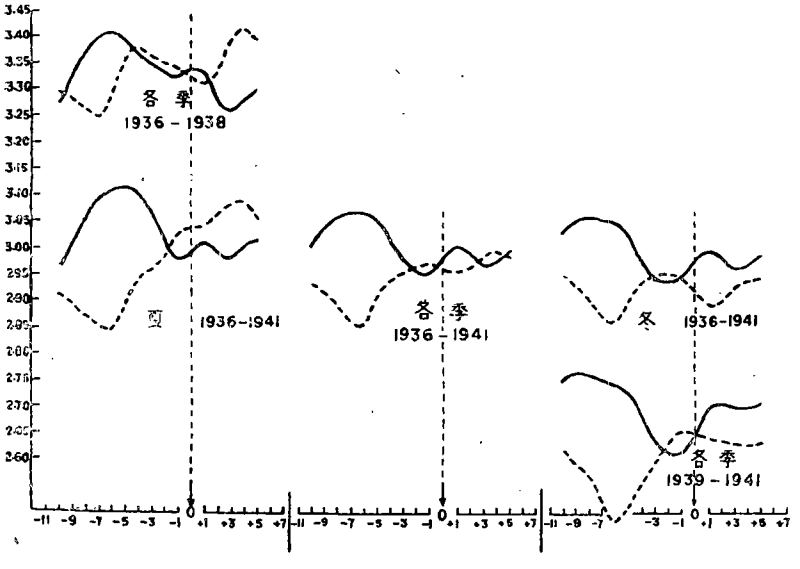

图 10

譜斑数明显增加,这与上述太阳色球爆发后第 4—6 天气压增加的結果是符合的. 因为鈣譜斑的增加与強烈色球爆发之間有一定联系,它們都反映太阳活动的变化. 相反,在日际減压之前 3—5 天鈣譜斑則表現減少.

1952 年 R. A. 克来格 (Craig)[15] 在杜尔的工作基础上扩大了研究的地区范围. 他仍用 1906—1937 年时期內 16 个黑子低值年中冬季四月共 320 个磁扰日和 320 个磁靜日的資料,研究北緯 30°—70° 范围內每十个經度間隔及每五个緯度間隔各交点上逐日气压的变化. 研究方法与杜尔相同,但把 16 年資料分为前后两段处理,各占 8 年. 克来格用比較严格的显著性检驗証实在磁扰日与磁靜日之后同一地区 10 天內气压的变化具有显著

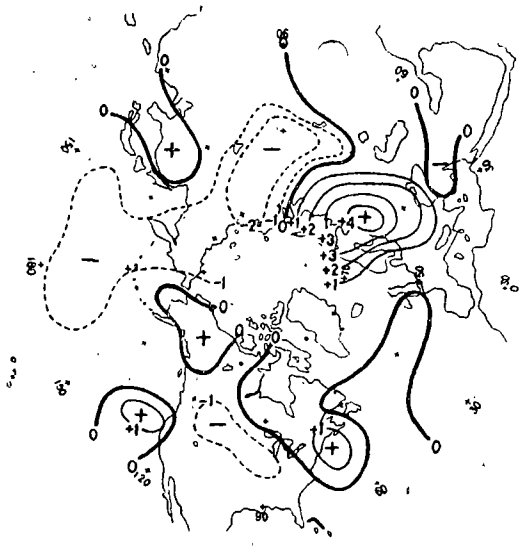

图 11

图 12

图 13

图 14

的相反关系．亦即某一地区如在磁扰日之后气压升高，則在磁靜日后气压下降，反之亦然．克来格把同一地点磁扰日后逐日气压減去磁靜日后逐日气压，作出关鍵日及其后逐日北半球气压差分布图．图 11—14 便是前 8 年(1910—1914，1920—1922)中关鍵日及其后第 2，4，6 天的气压差图．可以看出在磁扰日之后北半球高緯度表現出气压升高，而中低緯度气压下降．图 15—18 为后 8 年(1923—1924，1930—1935)中关鍵日及其后第 2，4，6 天的气压差图．可以看出，气压差正負区域的分布与图 11—14 不同．这說明前后两段时間內对北半球某同一地点而論，太阳粒子流輻射所引起的地面气压变化并不完全相符．这可能由于地球大气在受到外来影响时的初始状态有不同，同时两段时間內各关鍵日之后日期的重迭机会也不一致．克来格在其著作中詳細討論了这些問題．

图 15

图 16

图 17

图 18

1956 年 R. 沙皮罗(Shapiro)[16]研究北美洲北緯 30°—60°、西經 65°—125° 范围內每五度經緯度交点上逐日海平面气压的持續相关与太阳活动的联系. 太阳活动指标用国际地磁特性指数 C_i[1]. 凡二日之間 C_i 值增加 1 或 1 以上卽取作关鍵日. 在 1899—1945 年时期內沙皮罗共取出 564 次关鍵日. 所謂持續相关卽指同一地区某时气压分布与其后一定时間气压分布的綫性相关系数. 他用三天滑动相关系数平均值,計算关鍵日前 12 天到后18天內持續相关系数的变化. 計算亦用重迭时序分析法,計算結果見图 19—20. 图 19 表示 47 年內 564 次关鍵日总的結果,图 20 則表示已除去其中 12 年太阳黑子最多年份中

1) C_i 值系把地磁台逐日測出的地磁变化分为三級, 0 表示磁靜, 1 表示中度磁扰, 2 表示強烈磁扰. 每二級之間更細分为十等.

的 165 次关鍵日以后的結果．图中并表示出用 t 检驗[1] 定出的 5%，1%，0.1% 的信度界限．图 19 說明在关鍵日后第 3—4 天相关最大，其后第 14—15 天相关最小．这种情况在图 20 中更加明显．沙皮罗还把图 20 中的 35 年資料分为前 18 年和后 17 年两段时期处理．証明第 14—15 天的低值一致存在，但第 3—4 天的高值仅在前 18 年中出現．因此他認为在一次強烈太阳粒子流輻射侵入地球大气后，14 天后地面气压場将发生显著的不連續，其原因可能是高层大气先受影响，改变了环流形式，然后逐漸向下传播其影响．

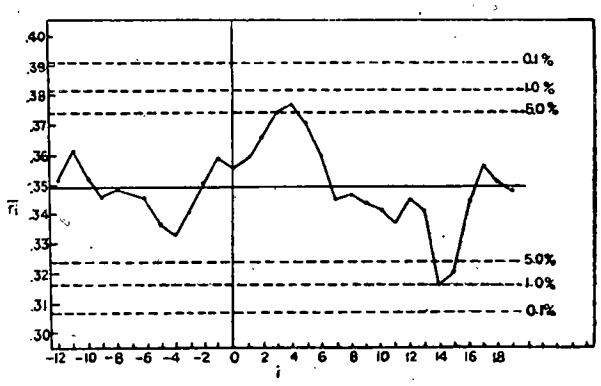

图 19

1959 年沙皮罗[17] 又发表用同样方法研究 1899—1938 年时期北緯 35°—65°、西經 30°—东經 30° 范围内气压持續相关的結果．仍发現关鍵日（共 467 次）后第 3—4 天的显著高值及其后第 14 天附近的低值，但低值未达到 5% 的信度．

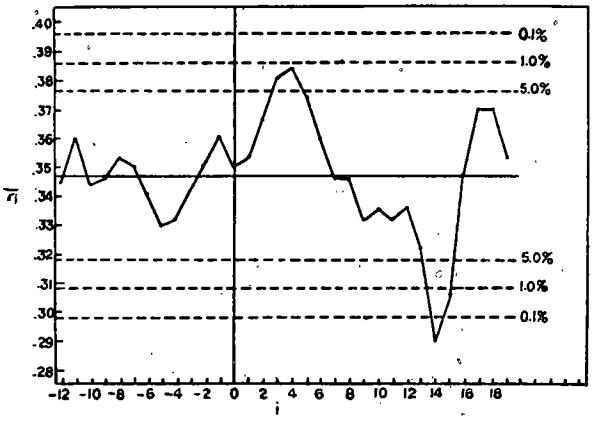

图 20

1956 年 C. E. 帕尔牟 (Palmer)[18] 則应用 1955 年 50 次太阳射电輻射扰动作为关鍵日，研究其前 12 天到后 18 天內太平洋低緯度三个珊瑚島的逐日平均气压变化，发現在射电扰动日及其前 7 天內皆为正偏距，其后 18 天內則皆为負偏距，而且在其后第 5—6 天及第 13—17 天負偏距最大．

捷克天文研究所 1952—1953 年的公报中发表了 B. 伐尔尼息克(Valnicek)的一系列文章[19]，研究太阳色球爆发与欧洲天气．发現在色球爆发后 7 天內欧洲天气变动上表現出一定的影响．作者研究 1936 及 1947 太阳活动的二高点年份內太阳爆发之后的天气图．証明色球爆发后鋒带有明显的向低緯度移动．并用欧洲 25 站逐日的气压資料，作出爆发前 5 天、前 2 天、当天及其后第 2，4，8 天的气压綜合图，显示出一种从緯向气流轉变为經向气流的趋势．同时还研究了爆发前后欧洲温度和雨天的变化，也发現一定的关系，例如在爆发后几天之內一般雨天可能增加．

1955 年以来 E. D. 翻辛(Farthing)[20—21] 則用日冕两条譜綫（5303 Å 及 6374 Å）輻射強度的比值作为太阳活动的指数，研究与美国天气的联系，发表了一系列的文章．当日冕

1）t 检驗是統計学中检驗显著性的一种方法．

輻射区通过日面中央而 5303 Å 輻射強度增強，則美国中西部气温同时升高，然后有冷鋒过境温度降低．当两条譜綫輻射強度比值加大，春夏季节美国中西部雨水增加，反之比值減小时雨水也少．

至于太阳活动影响地面温度和降水在逐日变动方面的专門研究工作也不少[22—26]，这里不再一一介紹．

四、太阳活动与对流层环流的关联

十余年来日地物理学家除了研究太阳活动与地面气象要素逐日变化之間的关系外，也着重研究与对流层中上层以及平流层底层大气环流演变之間的关联．如在上述杜尔的工作中[13]，曾研究过色球爆发前后西欧 500 毫巴高度在逐日之間的变化．上述伐尔尼息克的工作中[19]也曾研究过色球爆发期內北欧 500 毫巴高度的变化．沙皮罗[27—28]等則曾用地磁資料研究与 500 毫巴高度变化的关系．也有人研究太阳活动与 100 毫巴水平方向高度梯度逐日变化的关系[29—30]．又有人研究太阳活动与 100 毫巴及 50 毫巴层温度逐日变化的关系[31—32]，研究与西风带长波的联系[33]，研究潮汐振动周期与 500 毫巴高度偏距之間的关系[34]．最近苏联的一些工作者也研究了太阳活动与短期內大气环流型与天气过程演变之間的联系[35—36]，以及其他类似的研究工作[37—44]．所有这些研究大都得到正面的結果，但其中也有一些研究未能找出明显的联系[28,30]．現在我們想介紹近几年来美国科罗拉多高山观象台日地研究所发表的一系列研究报告[45—50]的主要內容，关于太阳活动影响 300 毫巴和 500 毫巴环流系統的情况．

科罗拉多高山观象台这方面的研究工作开始于 1956 年，到現在尙在継續进行．研究的地区范围目前尙限定在西經 120—180°、北緯 40° 以北包括阿留申与阿拉斯加以及北美西海岸．从每个冬半年（10—3 月）逐日 300 毫巴天气图上分析每次低槽的相对深度，測定每天的"低槽指数"．另計算 30400 呎和 29200 呎两条等高綫在西經 90°—180° 經度范围內的逐日长度变化，作为环流指数．太阳活动則以馬里兰州漆尔頓哈姆(Cheltenham)地磁台測定的地磁指数以及加拿大薩斯喀彻温(Saskatchewan)大学的极光資料为代表．对 1956—1957 年冬季，出現磁暴的关鍵日以地磁指数 Ach[1] 达到 23 以上，同时比前一天增加 12 以上为标准．对 1957—1958 年冬季以上述标准确定的磁暴次数过少，改用 Ach 达到 21 以上，同时前三天来 Ach 增加达到 10 以上为标准．对 1958—1959 及 1959—1960 年冬季，又改用漆尔頓哈姆記录到的急始磁暴（地磁力水平強度急增之后緩和下降）和薩斯喀彻温大学观測到強烈极光的日期为标准[2]，称为 C_p 关鍵日．C_p 关鍵日中皆已包括用前二个冬季 Ach 标准所定出的关鍵日．

計算低槽指数的定量方法如下：首先把低压槽分为三类，即"开口槽"、"閉合槽"及"切断低压"，見图 21．然后选 300 毫巴图上 30400 呎及 29200 呎两条等高綫来計算低槽指数，以两条等高綫算出的平均值作为低槽总指数．凡冬半年首先出現在研究地区的低压槽，皆按逐日两半球 300 毫巴天气图計算其低槽指数，直到該低槽在图中消失或者移出图

1) Ach 指数是指漆尔頓哈姆地磁力三分量中扰动最大者，每三小时平均变幅的日平均值，以 2-γ 为单位．

2) 如遇連續几天出現強烈极光时，仅取第一天为关鍵日．

的地域范围为止．开口槽的指数即是槽的深度 d 对槽的寬度 w 之比，即 $I_t = \frac{d}{w}$．槽的寬度乃量等高綫两拐点間的直綫长度，深度定为槽綫与寬度綫交点到等高綫气旋性曲率最大处的距离．对閉合槽量两条寬度綫，一条仍量两拐点間距离 W_1，另一条則量低槽等高綫上反气旋曲率处的最短距离 W_2（图 21）．深度 d 的量法同开口槽．閉合槽指数即定为 $I_t = \frac{d}{\frac{W_1 + W_2}{2}} = \frac{2d}{W_1 + W_2}$．对切断低槽先量閉合中心最大寬度綫 W，从 W 綫的中点到气旋性曲率最大处的距离定为深度 d，以 $I_t = \frac{4d}{W}$ 作为切断低压的指数．这是考虑到切断低压为低槽強烈发展的結果，所以令 4 倍于开口槽的指数来作区别．当开口槽与相联的切断低压同时出现时，則用两者指数的平均值代表低槽的总指数．

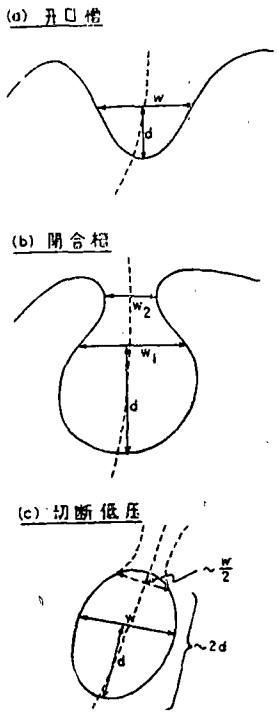

图 21

1956—1960 年四个冬季半年內在研究地区（阿留申—阿拉斯加地区）出现的低槽次数，以及按低槽指数划分大中小三类低槽的界限及其次数見表 1．針对上述地磁及极光資料所定出的关鍵日，研究关鍵日前后逐日各类低槽出现的机率，对四个冬半年皆发現在关鍵日之后 2—4 天內出现的低槽，常比在其他日期出现的低槽易于发展成为大槽．根据統計方法中显著性的检驗結果，对每个冬季都是显著的．而且在关鍵日之后 2—4 天內出现的低槽，一般在关鍵日之后第 7—9 天发展到最大．至于在关鍵日之后 2—4 天內出现的所謂小槽，其在西半球存在的时間也比所有其他小槽为长．

表 1　阿拉斯加地区 300 毫巴低槽情况

年　　份	1956—1957	1957—1958	1958—1959	1959—1960
冬半年关鍵日数	16	17	17	15
冬半年低槽次数	54	63	70	64
最大低槽指数平均	0.68	0.77	0.60	—
大槽次数	19(≥.75)	22(≥.85)	24(≥.63)	21
中槽次数	16(<.75, >.45)	19(<.85, >.45)	23(<.63, >.40)	22
小槽次数	19(≤.45)	22(≤.45)	23(≤.40)	21

注：括号中为划分三类低槽的指数界限值，取每次低槽发展最強时的低槽指数．

用同样方法对 1956—1957 年冬半年首先出现在研究地区的 500 毫巴低槽进行研究的結果，也得到与 300 毫巴相同的結論．最近发表的文章中[50]增加了对 1946—1947 及 1947—1948 两个冬半年 500 毫巴低槽研究的結果（关鍵日用急始磁暴），依然証实了上述的結論．

五、太阳活动与大气环流的多年变化

以上两节介紹太阳物理过程发生剧烈扰动之后，几天到半月之內地球表面大气层及对流层中上部所表現的一些相关現象．現在再簡述近年来关于大气环流的多年变化与太阳活动关联的研究情况．

自从十九世紀后半期有了天气图分析以来，全北半球逐日海平面天气图資料已經积累了六十多年(1899 年起)．区域性天气图如欧洲到大西洋东部地区，則經历的时間还要长一些．对流层中层的天气图(500 毫巴或 700 毫巴)則自本世紀三十年代以来也积累了二十余年．因此近年来有許多气象工作者利用几十年来的天气图資料研究了大气环流的多年变化，发現許多現象，而这些現象研究工作者大都与同时期太阳黑子相对数的多年变化作了对比，認为其間有一定的关联．这方面的研究工作以苏联气象工作者的貢献較多．

1945 年 B. Ю. 維泽(Визе)[51] 認为，太阳黑子数增加引起大气环流加強，黑子数減少則使大气环流減弱．但是太阳活动加強只能加重当时环流型的发展，并不能使环流型改变．后来苏联的許多研究工作者，都認为不論大气环流的強度和环流类型的多年变化，皆与太阳活动发生密切联系．

1946—1948 年 Л. A. 維捷里斯 (Вительс)[52—54] 研究太阳活动对气旋性环流和反气旋性环流的影响，認为在太阳活动世紀周期(80—90 年周期)的上升阶段，大西洋到欧洲地区強烈气旋的出現頻率增加，同时強烈反气旋頻率減少．对比 1920—1939 与 1900—1919 前后各 20 年的情况，发現在后 20 年中冰島气旋的加深比亚索尔反气旋的減弱更加迅速，因此認为在太阳活动世紀周期高峯年份附近大西洋上經向气压梯度加大，亦卽緯向环流增加．最近 H. A. 别林斯基(Белинский)[55] 在維捷里斯的基础上分析了全北半球中緯度的多年資料后进一步指出：不論在太阳活动世紀周期和 11 年周期的上升阶段，全北半球的气旋性环流加強，而反气旋性环流減弱．在其他国家的一些同类研究报告中也得出同样的結果[56—57]．

1948—1950 年 П. П. 勃来特青斯基 (Предтеченский)[58—59] 根据气候上及地質上的許多間接資料，認为太阳活动的增加固然使得地球緯向环流加強，但是在更大的程度上乃使得大气环流的經向程度增加．

1950—1954 年 A. Я. 别兹魯卡娃 (Безрукова)[60—61] 根据 Б. Л. 德泽尔泽也夫斯基 (Дзердзеевский) 等的环流分型[1]，研究其与太阳活动的关系．对各型环流日数及黑子相对数进行十年滑动平均的处理后发現，在 50 年的时期內 I, II, IV 类环流日数的变动，与黑子相对数的变动大致相符合，而 III 类环流日数的多年变化情况与之相反．

1956 年 A. A. 吉尔斯 (Гирс)[62] 根据 Г. Я. 房根盖依姆(Вангенгейм)和他自己的环流分型[61]資料研究环流型的多年变化，得出了著名的結果．几十年来各不同时段的盛行环流不同，吉尔斯把 1891 年以来的环流盛行期划分为五个不同时段：

1) 此种环流分型把北半球环流共分四类十三型．考虑北半球气压場的分布及极地寒流向低緯度爆发的地区与路逕来划分．第 I 类沒有极地寒流南侵，相当于緯向环流．第 II 类只有一路寒流南侵，但可以出現于不同地区．第 III 类同时有两路以上的寒流南侵．第 IV 类在极地区域盛行气旋活动，并有气旋經过北极．

时段：　1891—1899　1900—1928　1929—1939　1940—1948　1949—1958

盛行环流型：　C+W ⟶ W ⟶ E ⟶ C ⟶ E+C

把不同时段的盛行环流与同时期太阳黑子相对数的变动联系起来，吉尔斯发现：在太阳活动世紀周期下降的时段緯向环流盛行（W 型时段），世紀周期的上升时段則經向环流盛行（E 型或 C 型时段）。最近苏联另外的一些研究工作者[64—65]也得到与吉尔斯同样的結果。

1960 年 A. Л. 卡茨 (Кац)[66] 发表了他研究西經 30°—东經 110°、北緯 35°—70° 范围內 20 年（1938—1957）环流指数的工作。卡茨以客观定量的方法計算緯向环流指数 I_B 和經向环流指数 I_M，并以 $I' = I_M/I_B$ 代表环流总指数。

$$I_B = bn/(\varphi_2 - \varphi_1)_i, \qquad I_M = bm/(\lambda_2 - \lambda_1)_{j\cos\varphi}$$

其中 b 为天气图上等高綫或等压綫的間隔单位。φ_2 和 φ_1 为緯度，λ_2 和 λ_1 为經度。i 为 φ_2 和 φ_1 两緯度間隔中的經綫度数，在其上計算經向高度梯度或气压梯度。j 为 λ_2 和 λ_1 两經度間隔中的緯綫度数，在其上計算緯向梯度。$\cos\varphi$ 是对各緯度的訂正系数，使各緯度上每一度弧长对比赤道上一度弧长为单位，以便不同地区計算出来的經向指数可以互相比較。n 为与經綫相交的等高綫或等压綫数目，m 为与緯綫相交的等值綫数目。卡茨計算的历年 500 毫巴平均环流指数如表 2。

表 2　卡茨 500 毫巴年平均环流指数值（位势什米/赤道度）
（地域范围北緯 35°—70°，西經 30°—东經 110°）

年　份	I_B	I_M	I'	N_M	N_B
1938	0.85	0.71	0.99	253	112
1939	1.09	0.73	0.74	216	149
1940	1.01	0.70	0.81	217	149
1941	1.14	0.66	0.63	202	163
1942	1.09	0.71	0.73	194	171
1943	1.12	0.70	0.67	159	206
1944	1.09	0.75	0.75	198	168
1945	1.09	0.73	0.76	207	158
1946	1.03	0.73	0.75	231	134
1947	1.08	0.78	0.83	256	109
1948	1.20	0.85	0.76	216	150
1949	1.17	0.85	0.78	246	119
1950	1.10	0.89	0.89	240	125
1951	1.18	0.83	0.75	238	127
1952	1.12	0.89	0.92	223	143
1953	1.09	0.89	0.84	208	157
1954	1.15	0.82	0.81	213	152
1955	1.21	0.80	0.73	212	153
1956	1.12	0.85	0.91	247	119
1957	1.30	0.86	0.84	229	136
平　均	1.11	0.79	0.80	224	141
变　幅	0.45	0.23	0.36	96	96

表中 N_M 为經向天气过程的日数，N_3 为緯向天气过程的日数．划分的标准以研究地区平均总指数 I'，< 0.75，同时研究地区北半部的 I' 亦 <0.75 时定为緯向天气过程；如果研究地区或其北半部 $I' \geqslant 0.75$ 时，即定为經向天气过程．

卡茨对比前十年 1938—1947 和后十年 1948—1957 环流指数的变化如表 3．可見后十年的 I_M, I_3, I', N_M 皆比前十年增強（只冬半年 I_3 略見減弱），同时太阳黑子相对数后十年也比前十年增加了 31%．卡茨并用十年滑动平均方法計算了 I_3, I_M, I', N_M, W 的变动，指出这五个参数在 20 年中随时間一致增加的趋势．卡茨又計算这 20 年逐年的 N_M 与 W 的相关系数达到 0.81 ± 0.08；逐年夏半年（4—9 月）的 N_M 与 W 的相关系数亦达到 0.80 ± 0.08．由此卡茨認为太阳活动对大气环流演变的影响是明显的．

表 3 卡茨环流指数前后十年的对比

年 份	I_M			I_3			I'			N_M			W
	冬半年	夏半年	全年	冬半年	夏半年	全年	冬半年	夏半年	全年	冬半年	夏半年	全年	太阳黑子平均相对数
1938—1947	0.76	0.69	0.72	1.16	0.97	1.06	0.74	0.79	0.76	951	1131	2082	65
1948—1957	0.92	0.78	0.85	1.15	1.00	1.08	0.81	0.84	0.82	1013	1173	2186	85
变动（占前十年的%）	21.0	13.0	18.0	−1.0	3.1	1.9	9.5	6.3	8.0	6.5	3.7	5.0	30.8

在美国如 H. C. 威来脫（Willet）[67—68] 等人也研究过大气环流多年变化与气候变迁以及太阳活动的关系．威来脫以高低指数环流的轉換来解释各不同时間长度气候与天气的变化（包括地質时代的气候变迁到几天之內的天气演变），而高低指数的轉变則受太阳活动影响．这种学說在十余年前提出时便引起了学术界的注意．此外如 C. J. 古尔牟（Kullmer）[69] 研究北美洲几十年中逐年气旋頻率分布图，发現平均气旋路径的地理分布与太阳活动的 22 年周期（Hale cycle）有密切关系．后来捷克学者[70] 研究大西洋和欧洲鋒区位置和強度的变动与太阳活动的关系时，也发現在太阳活动低点年份鋒区常分为南北两条，高点年份則仅有偏北的一条鋒区．

許多国家的研究工作者在太阳活动影响对流层大气环流的多年变化方面，近来有很多的研究[71—75,87]，本文不能一一列举．

六、太阳活动影响大气的几种可能机制

凡研究太阳活动影响大气环流及对流层天气的工作，包括以上各节所述，到現在为止几乎都是用統計相关的办法得出的一些結果．太阳活动改变着太阳輻射，此种变动着的輻射部分在到达地球后如何作用于对流层大气，其物理机制直到今天还是一个沒有弄清楚的問題．許多研究工作者曾經做过各种各样的設想．有的人設想，当強烈的太阳粒子流輻射和紫外綫輻射侵入地球高层大气后（100 仟米以上），首先引起高层大气的一系列物理过程，例如我們可以观測到电离层的扰动以及极光的頻繁出現．因此高层大气的温度場和气压場发生改变，此种高层大气温压場的扰动通过动力作用和热力作用逐步向下传播，最后影响到对流层的大气过程．但是根据近年来的一些理論計算[35,77—78]，高层大气扰动向下传播时一般是阻尼的，这些扰动要通过平流层中距地表 50 仟米左右的逆温层頂

以及对流层頂是有困难的．不过象 Л. П. 拉基坡娃(Ракипова)[78—79]提出的理論模式，假定各层大气內气旋性环流与反气旋性环流交替迭加，給定各层以一定的垂直速度，便認为由于紫外輻射及粒子流輻射引起的电离层（F，E，D 各层）扰动，就可以一直影响到地面气压发生几个毫巴的变动．視粒子流輻射強度和速度的差异，以及紫外輻射最強波段的差异，侵入大气层的深度每次有所不同，因此究竟引起 F 层还是 E 层或 D 层扰动每次也有不同，最后对地面气压場的影响也有所不同，有时可以使地面气旋或反气旋加強，有时則又使它們減弱[80]．这类理論工作一般都还不够成熟．

另有一些工作者設想太阳活动是通过大气臭氧层的作用然后传送其影响到达对流层的．大气臭氧含量主要集中在距离地表 15—35 仟米处，臭氧具有吸收太阳紫外輻射的性能，所以在太阳紫外輻射加強时，臭氧层由于大量吸收可能引起温度增高，同时在紫外綫作用下增加了臭氧的含量．1946—1948 年 B. 侯威治 (Haurwitz)[81—82] 便做过一些理論計算，假定臭氧层的这种增温作用在地球赤道附近最強，向高緯度削弱．由此产生了經向气压梯度，引起空气的經向交換．臭氧层的經向气流通过动力和热力作用影响到对流层环流，促使对流层增加經向交換．这种所謂"臭氧机制"是建筑在設想的基础上的．有人不同意这种說法，認为臭氧层的变化本身主要还是对流层过程影响的結果[83]．

又有一些人認为太阳活动增強时，通过光化作用在平流层及对流层上部产生吸水性凝結核．首先由于紫外輻射加大，臭氧层中可以产生 NO，NO_2，N_2O；N_2O 与 O_3 則合成 N_2O_5．N_2O_5 与 N_2O 皆具有吸水性，可以成为凝結核．由于凝結核的增加，一方面改变大气輻射条件及大气的稳定性，逐漸影响到大气各层的过程[12]；另一方面在适当的天气条件下这些凝結核可以下落到对流层上部，促使高云的产生，放出潛能，使对流层上层的环流性质与強度受到一定作用．另外象 H. 威斯(Wiese)曾經指出[84]，太阳无綫电輻射的厘米波段部分与大气中胶体化学过程有关，可以引起水汽的凝結．太阳厘米波段輻射則可以通过高层大气直接到达地面层大气，但是厘米波段輻射的能量很小，对于大气中凝結作用所起的作用程度当有限制．而且此类凝結所释放的潛能比之气旋中由于不同气团温度差别所决定的能量要小得多，所以外加的能量只能象"雷管"或火炮的"引綫"作用一般．这就是太阳活动影响对流层天气的所謂"凝結机制"学說．

总之，太阳活动究竟是通过怎样的物理过程影响于对流层环流和天气，到现在还很不清楚．只有在高低空环流的相互作用和相互制約进一步闡明之后，对各种太阳輻射到达大气外层的分布及其变化获得精确观測数据之后，以及对太阳輻射侵入大气各层所引起的一系列物理化学过程（吸收、反射、透射、光化作用等等）进一步弄清之后，太阳活动影响对流层天气这个問題方才能够得到比較全面的解决．

七、結　束　語

近年来各国对太阳活动与对流层环流和天气的研究广泛开展，也已得出不少相关結果．因此就有人根据这些結果試做天气預报．有的在作几年到几十年的所謂超长期气候預报，象維捷里斯[85]和威来脫[86]．有的在作几个月到 1—2 年的长期天气預报，象 F. 巴欧(Baur)[71]等人．也有的在試作几天到 1—2 星期的中期天气預报，甚至有人賴此进行短期天气預报，如翻辛、阿波脫[20—25]等人．目前这类預报的基础并不稳固．但是对太阳物理过

程与太阳輻射变动有了深切了解之后，对太阳輻射作用于地球各层大气的物理过程也有了更深入的認識之后，显然会对天气預报起根本的影响，甚至在改造气候与控制天气方面也可以启发新的途径.

参 考 文 献

[1] Holmes, J., *Rocket and Missile.* 8(17), 17, April 24, 1961.
[2] Abbot, C. G., *Smith. Miscell. Coll.* **117**(10), 1952; **128**(4), 1955.
[3] Chernosky, E. J., & Hagan, M. P., *Journal of Geophy. Res.* **63**(4), 775—788, 1958.
[4] Roberts, W. O. & Zirin, H., *J. of Geophy. Res.* **65**(6), 1645—1659, 1960.
[5] 謝維尔納，苏联科学家报告汇編上册，76—81 頁，科学規划委員会出版，1956.
[6] ————，太阳物理学，科学出版社，1960.
[7] Ratcliff, J. A., (Ed.), The Physics of Upper Atmosphere, N. Y. Academic Pr., 1960.
[8] 斯克伏尔錯夫，E. Ф.，天文学，143—148 頁，高等教育出版社，1955.
[9] Kuiper, G. P., (Ed.), The Sun, Chapter 6, 322—465, Chicago Uni. Pr., 1954.
[10] Brooks, C. E. P., Meteorological Abstracts and Bibliography 8(1), 95—119, 1957.
[11] Roberts, W. O., *Bull. of Amer. Met. Society,* **37**(9), 477—479, 1956.
[12] a) Эйгенсон, М. С., Гневышев, М. Н., Оль, А. И. и Рубашов, Б. М., Солнечная активность и ее земные проявления, Гостехиздат. М. 1948.
b) Эйгенсон, М. С., Очерки физико-географических проявлений солнечной активности, Львов, 1957.
[13] Duell, B. & Duell, G., *Smith. Miscell. Coll.* **110**(8), 1948.
[14] Panofsky, H. A. & Brier, G. W., Some Applications of Statistics to Meteorology, 159—161, 1958.
[15] Craig, R. A., *J. of Met.* **9**(2), 126—138, 1952.
[16] Shapiro, R., *J. of Met.* **13**(4), 335—340, 1956.
[17] ————, *J. of Met.* **16**(5), 569—572, 1959.
[18] Palmer, C. E., Technical Rep. No. 1, 108—114, 1956. Institute for Solar-Terrestrial Research, High Altitude Obs., Colorado.
[19] Brooks, C. E. P., *Met. Abstracts & Biblio.* **8**(1), 105, 8A—43, 1957.
[20] Farthing, E. D., *Bull. of Amer. Met. Society,* **36**(9), 427—435, 1955.
[21] ————, *Bull. of Amer. Met. Society,* **37**(6), 309—310, 1956.
[22] Arctowski, H., *Bull. of A. M. S.* **21**(6), 257—261, 1940.
[23] Abbot, C. G., *Smith. Miscell. Coll.* **104**(5), 1944.
[24] ————, *Smith. Miscell. Coll.* **110**(6), 1948.
[25] ————, *Smith. Miscell. Coll.* **121**(13), 1953.
[26] Clayton, H. H., *Smith. Miscell. Coll.* **104**(19), 1946.
[27] Shapiro, R., *J. of Met.* **11**(5), 424—425, 1954.
[28] Shapiro, R. & Ward, F., *J. of Met.* **18**(2), 247—251, 1961.
[29] London, J., Transactions of the New York Academy of Science, Ser. II, **19**(2), 138—146, 1956.
[30] ————等, *J. of Geophy. Res.* **64**(11), 1827—1833, 1959.
[31] Ward, F., *J. of Met.* **17**(2), 130—134, 1960.
[32] Ward, F. & Shapiro, R., *J. of Met.* **18**(2), 256—258, 1961.
[33] 荒井康，气象集志，Ser. II，**36** (2), 46—54, 1958.
[34] 高桥浩一郎，气象集志，Ser. II, **36** (3), 97—107, 1958.
[35] a) *Известия АН СССР, Серия Геофизическая,* № 8, 1287—88, 1960.
b) *Известия АН СССР, Серия Географическая,* № 3, 157—159, 1960.
[36] Вительс, Л. А., *Метеорология и Гидрология,* № 7, 9—13, 1960.
[37] Scherhag, R., Ber. Deutsche Wetterdienstes, U.S. Zone, 38, 51—61, 1952.
[38] ————, *J. of Met.* **17**(6), 575—582, 1961.
[39] Palmer, C. E., *J. of Met.* **10**(1), 1—9, 1953.
[40] ————, *J. of Met.* **13**(3), 315—316, 1956.
[41] Palmer, C. E., and Ohmstede, W. D., *Tellus* **8**(4), 495—507, 1956.
[42] Willet, H. C., *Bull. of A. M. S.* **33**(6), 255—258, 1952.
[43] Riehl, H., *J. of Geophy. Res.* **61**(3), 525—534, 1956.

[44] Julius, Jr., A. L., *Science*, **133**(3465), 1707—08, May. 26, 1961.
[45] Technical Reports No. 3,4,6,7,8, 1957—60, Institute for Solar-Terrestrial Research, High Altitude Obs., Colorado.
[46] Woodbridge, D. D., Macdonald, N. J. & Pohrte, T. W., *J. of Geophy. Res.* **64**(3), 331—341, 1959.
[47] Macdonald, N. J. & Roberts, W. O., *J. of Geophy. Res.* **65**, 529—534, 1960.
[48] Macdonald, N. J. & Woodbridge, D. D., *Science*, **129**, 638—639, March 1959.
[49] Woodbridge, D. D., Macdonald, N. J., & Pohrte, T. W., *J. of Met.* **15**(2), 247—248, 1958.
[50] Macdonald, N. J. & Roberts, W. O., *J. of Met.* **18**(1), 116—118, 1961.
[51] Визе, В. Ю., Доклады юбил. Сессии КНИИ. Изд. Главсевморпути. 1945.
[52] Вительс, Л. А., *Мет. и Гидро.* № 6, 1946.
[53] ————, *Мет. и Гидро.* № 5, 1947.
[54] ————, *Труды ГГО*, вып. 8 (70), 1948.
[55] Белинский, Н. А., Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов. Гидрометеоиздат. Л. 1957.
[56] Picha, N., *Met. Zpravy* **3**(4—5), 64—70, 1950.
[57] Bodurtha, F., *J. of Met.* **9**(2), 1952.
[58] Предтеченский, П. П., *Труды ГГО*, вып. 8 (70), 1948.
[59] ————, *Труды ГГО*, вып. 19 (81), 1950.
[60] Безрукова, А. Я., Бюлл. Комис. по иссл. Солнца, № 5—6, 1950.
[61] ————, *Труды Лабор. Озероведения АН СССР*, т. III, 1954.
[62] Гирс, А. А., *Мет. и Гидро.* № 10, 1956.
[63] ————, Основы долгосрочных прогнозов погоды, стр. 171—200, 328. Гидрометеоиздат, 1960.
[64] Тябин, Н. И., Автореферат диссертации АНИИ, 1958.
[65] Егорова, В. И., *Труды ГГО*, вып. 87, 1959.
[66] Каш, А. Л., Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. Гидрометеоиздат, Л. 1960.
[67] Willet, H. C., *J. of Met.* **6**(1), 1949.
[68] ————, Geographical Annalen, **31**, 1949.
[69] Kullmer, C. J., *Smith. Miscell. Coll.* **103**(10), 1943.
[70] Gregor, Z. Kryivsky, L., *Publi. Astro. Obs. Czechosl. Akad. Sci. Ondrejov* **23**(5), 1953.
[71] Baur, F., Physikalisch-statistische Regeln als Grundlagen für wetter-und witterungsvorhersagen, a) Bd. I. Frankfurt a. M. 1956; b) Bd. II. Frankfurt. 9. M. 1958.
[72] ————, Die Sommerniederschläge Mitteleuropas in der letzten $1^1/_2$ Jahrhunderten und ihre Beziehungen zum Sonnenfleckenzyklus, Akademische verlag. Leipzig, 1959.
[73] Mironovitch, V. & Viart, R., Interruptions of Atmospheric Zonal. Flow in western Europe and its Relationship to the Solar Activity, 1958.
[74] Berkes Zoltán, Időjárás, **1**, 19—23, Jan-Feb. 1961.
[75] 高橋浩一郎，气象研究 ノート，第12卷 第3号，271—285，1961.
[76] Spar, J., Technical Report No. 5, Institute for Solar-Terrestrial Research, High Altitude Observatory, Colorado, 1958.
[77] Charney, J. G. & Drazin, P. G., *J. of Geophy. Res.* **66**(1), 83—109, 1961.
[78] Ракипова, Л. Р., *Труды ГГО*, вып. 28, 1951.
[79] ————, Циркуляр Астр. обсерватории Львовского Гос. ун.-та, **31**, 1955.
[80] ————, *Труды ГГО*, вып. 87, 1959.
[81] Haurwitz, B. *Transactions of Amer. Geophy. Union* **27**, 161, 1946.
[82] ————, Harvard Obs. Monograph No. 7, 1948.
[83] Прокофьева, И. А., Атмосферный озон, *Изд. АН СССР*, 1951.
[84] Wiese, H., Zeitschrift für Meteorologie No. 4, 179, 1950.
[85] Вительс, Л. А., *Известия АН СССР*, Серия Географигеская № 5, 129—130, 1961.
[86] Willet, H. C., Cold Weather ahead! Saturday Evening Post, Philadelphia **228**(30):23—25, 122—124 March 24, 1956.
[87] Рубашев, Б. М., Тезисы Докладов на Всесоюзном научном метеорологическом совещании. Секция Климатологии, 44—46, Гидрометеоиздат, Ленинград, 1961.

THE RECENT INVESTIGATIONS ABOUT SOLAR-WEATHER RELATIONSHIP IN FOREIGN COUNTRIES

YANG CHIEN-CHU
(*Institute of Geophysics and Meteorology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In this paper the studies of solar-weather relationship during the recent 15 years are reviewed. At first, the modern views about the structures of solar surface and solar atmosphere are introduced. The definition of solar-activity and the physical processes occured on the sun, which cause changes in the region of ultra-violet and radio wave of the sun's electromagnetic radiation as well as that of sun's corpuscular radiation, are discussed. Then the chief achievements about the investigations on the problem of solar-weather relationship are given. Finally some theories about the physical mechanism of solar-weather relationships and the importance of the studies on this problem in the extended weather forcasting as are commented.

启 事

气象学报編委会地址現已迁移，今后作者来稿，請寄北京西郊五塔寺7号气象学报編委会收，特此告之。

气象学报編委会