

IMGRASS 中的尺度转换和现实的定量遥感*

张仁华 孙晓敏 朱治林

(中国科学院地理研究所, 北京 100101)

摘要 讨论了传统点测量数据的代表性与 IMGRASS 项目的需求之间的矛盾, 分析了遥感信息的特长以及局限性, 并在现实的条件下提出了一种切实可行的尺度转换方法。

关键词 定量遥感 尺度转换 星地同步观测

1 问题提出

“内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气相互作用”项目简称 IMGRASS, 已被批准为国家自然科学基金委重大项目。在项目的许多研究目标中, 有一点是明确的, 这就是在陆地生态系统中具有代表性的温带、半干旱草原——气候敏感过渡带边缘, 以中尺度的研究空间, 开展大气与土壤、植被的互相作用的研究。非常突出的一点就是强调中尺度概念。这与以前已经开展的 SPAC 系统的研究(土壤、植物、大气系统)尺度有很大的区别。SPAC 系统仅局限于小尺度甚至微尺度。在这种尺度的测点上观测到的大部分参数, 对于 SPAC 系统均具有较好的代表性。但是, 在本项目的中尺度(即 $100\text{ km} \times 100\text{ km}$) 范围内, 传统的常规的“点”测量数据缺乏中尺度的代表性。即使在 $100\text{ km} \times 100\text{ km}$ 范围布上 100 个测点, 一个点要代表的范围竟达 100 km^2 。这就要求在 100 km^2 范围内参数是均匀一致的。事实上这个要求是很难达到的。

通常地表参数的传统点测量的代表性是随种类而变化的, 它们的代表尺度如下:

地表参数种类	代表性尺度
叶面积指数	1 m^2
土壤水分含量	$< 10\text{ m}^2$
地表通量	$10^4 \sim 10^6\text{ km}^2$

特别是地表通量, 当超过一定的高度, 常通量的原理已不成立, 所测定数据的代表性是随高度变化而变化的。所以, 在 300 m 上空的涡度相关法所测出的通量比 2 m 高度上测量的通量的代表尺度要大得多。但是, 一个测点上的数据要在 100 km^2 的面积上具有代表性是绝对不成立的。况且这次野外测点的数量只有 10 个左右, 一个点要代表平均 1000 km^2 。由此可见, 中尺度与大尺度一样, 如何取得具有代表性的数据, 也就是获得中尺度的数据真值, 是一个非常重要又非常的棘手问题。长期以来, 传统的以点代面

1997-07-18 收到

* 国家自然科学基金重大项目 No.49790020 资助

的方法或以少数点数据划等值线的方法一直袭用至今。用目前客观的标准去衡量这种方法,往往可以造成 200% 以上的误差。就众所周知的全球环流模型 (GCM) 而言,当应用偏离真值 200% 的误差数据输入模型时,即使模型本身没有误差,其输出结果也肯定不尽人意。又如我国华北平原的缺水总量的估算非常有价值,也是高层决策机构迫切想知道的信息,但由于以点代面的估算值误差太大,至今仍是有待解决的难题。

对于内蒙古草原的牧草积蓄量,土壤水分含量以及地表通量等等均具有明显空间非均匀性。如何弥补在 IMGRASS 实验区 10 多个测点之间的信息真空,也就是如何将有限“点”测量数据,通过现实的定量遥感,转换为“面”分布数据,即如何进行“尺度转换”? 对于这个问题,本文拟作一概要的回答^[1~5]。

2 遥感信息的特点及其局限性

IMGRASS 课题与国际上有关全球变化及区域持续发展等许多重大研究项目一样,均需要全球或区域尺度内的二维空间分布信息。例如像 IGBP、ISLSCP、GEWEX 等等无一不以遥感信息作为重要的手段,将单点或多点的地面观测数据向二维空间扩展,其理由是明显的。

遥感数据是具有以象元为基本单元的二维连续信息。这是在采集数据方式上的突破。遥感的这种快速、大范围的数据采集技术,在许多需要大自然二维空间信息的领域中得到广泛的应用。通过不同时相与不同角度的遥感数据及其遥感模型,即在时间座标和第三维空间座标上进行开拓,可使得遥感信息具有三维空间意义。例如运用惯量遥感模型的反演,可以估算地面到 1 m 深的平均土壤水分含量的信息。又如运用二向反射模型的反演,可以获得具有三维空间冠层结构的信息。由此可见,遥感技术在为表达二维空间甚至三维空间信息方面提供了非常有力的手段,这些特点是其他数据采集手段所不能取代的,因而具有非常深远的科学意义。因此,自 70 年代末开始,遥感技术在各行各业的应用犹如雨后春笋般的发展起来。从农业作物估产到地质寻矿,遥感几乎成为一种万能的工具。这种一哄而起的现象不仅在我国出现,在其他各国也是如此。随着实践的深入,这些热情有余的应用者发现,遥感并不是一种万能的技术,它的局限性使他们失望,很多遥感应用者从一个极端走向另一个极端。他们惊呼上了当,遥感技术几乎又成了无能的东西。正如有位国外的科学评论家总结的那样:在蜂拥而起之后,只有四分之一到三分之一的遥感工作者坚持下去,他们将以客观的科学思维方法,继续发展遥感技术与应用。

因为 IMGRASS 中有关的课题、专题,大多要求能够以遥感方法获取中尺度分布的参数。在项目各项课题、专题即将开始之前,与从事遥感的或不从事遥感的科学工作者说明上述情况是有益无弊的。遥感不是万能,但也决不是无能。既要认识到遥感的特长,也必须认识到它的局限性。

遥感数据仅仅是发自地物表面几微米的电磁波强度、波长和偏振等的度量值。到目前为止,光学遥感的信息源仅仅是地物表面的可见光和近红外波段的反射率以及在热红外波段地表的比辐射率及亮度温度。80 年代的大部分工作属于定性遥感,只是以影像图的形态与色度为基本信息源,以识别地物类型为目标。遥感信息的一些局限性并不影

响其应用。而 IMGRASS 的课题所需要的遥感是定量遥感,目的是要把十多个有限单点上的尽可能多的参数和要素,扩展成中尺度 $100\text{ km} \times 100\text{ km}$ 范围的二维空间分布。因此如何克服遥感信息的局限性,把有限的遥感信息扩展成 IMGRASS 需要的区域分布信息,成为遥感课题的主要研究目标。特别是,在 IMGRASS 项目的遥感研究中,人力、物力和时间都十分有限,不可能对目前定量遥感中的关键和前沿问题进行攻关和开拓。只能在现实的条件下,尽可能地发挥遥感信息的特长以及充分应用其他信息的配合,克服遥感信息的局限性,从而完成尺度转换的研究目的。

3 点面结合的可行途径

如上所述,首先必须开展的研究课题是把可见光、近红外波段的反射率及热红外波段的比辐射率、亮度温度转换成植被指数、生物量、叶面积指数、土壤水分含量、土壤水分蒸发量、草地蒸腾量等等。为了实现这些目标,首先应该在遥感实验场里,开展信息转换研究,建立各种应用的遥感模型。例如,研究各种植被指数模型,去推算植物生物量;研究热惯量模型,去估算裸地土壤水分含量;研究植物缺水指数模型,去估算植被覆盖下的土壤水分含量;研究二向反射模型,去反演植物的几何结构等等。这些研究工作在 70 年代就已开始,在国内外遥感界取得了较多的积累,今后还将继续发展及深化。

值得指出的是,现有的应用模型大多是在 SPAC 系统的尺度下完成的。它们主要讨论了地面遥感模拟信号转换为 SPAC 系统中的参数,这些模型基本上没有考虑到大气辐射传输问题。在中尺度与大尺度的遥感应用研究中,我们必须从地面遥感模拟信号发展到航空、航天平台的实时遥感信号。因此大气辐射传输问题将是不可逾越的屏障。实际上大气辐射传输的研究一直是在另一个范畴中进行的,甚至比上述应用模型研究更有悠久的历史。各种各样的模型也已建立,例如最近颇为流行的 6S、Lowtran-6 模型等。但是由于大气的不稳定性以及复杂性,在实践中像 6S 这种模型仍然存在不可接受的误差。当然,在 IMGRASS 课题中,应该鼓励有条件的科学家在 6S 模型的基础上,继续发展更精确的大气辐射传输模型。但需要有一段时间的积累。在目前的形势下,似乎不允许定量遥感的研究在等到较完善的大气辐射传输模型发展后才开始。况且无论什么等级的大气辐射传输模型,均需要实时的大气基本参数(例如大气温、湿、压的垂直廓线和各种粒径的气溶胶含量等)的输入。这确实需要相当的人力、物力的支持。虽然目前仅仅依靠遥感信息来进行大气辐射传输的研究也早已开始并获得了一定的成果,例如劈窗技术(Split Window Technique)和抗大气影响植被指数等。但更精确的大气辐射传输模型仍需要实时的大气基本参数的输入。

针对目前的学术动态和形势,为了开展定量遥感,我们认为采用与获取大气基本参数相等价的人力和物力,开展卫星与地面的同步观测,似乎可使定量遥感绕过大气辐射传输这个难关。它不仅可使定量遥感迈进一步,而且可以使大气辐射传输研究本身得到一个检验基准,从而促使其更快的发展。

星地同步观测的基本功能类似于各种度量仪表的刻度标定。像确定玻璃温度表的刻度那样:首先假定毛细管是均匀的,然后分别把温度表放在 0°C 冰水及 100°C 的沸水

中, 确定冰点及沸点, 最后将 0°C 到 100°C 的刻度等而分之。它之所以简便, 是因为避开了复杂的固体热物理的计算。类似这种标定方法有很多例子, 已广泛地在各种度量仪表的标定中成功地被采用。

对于遥感影像图的标定, 我们利用类似的方法, 即星地同步观测的方法。它基于下面两个假设:

(1) 假定在被标定的一幅遥感影像图的实际范围内, 大气状况是均匀的, 这种假设在同一气团控制下的晴天基本上是成立的。即使到将来, 已具有非常完善的大气辐射传输模型, 其基本大气性质的数据仍是靠单点或多点的探空观测而得, 还是要假设这些数据在被研究区域是有代表性, 或者说大气状况在被测量地区是均匀的。

(2) 假设相应的反射率或地表温度的影像图灰度值是线性变化的。实践证明, 在大部分情况下, 这假设是成立的。

在这两个假设成立的前提下, 就可开展星地同步观测。其大致步骤是:

(1) 建立 4~16 象元实际面积上的高、中、低反射率及地表温度的三个靶场, 高反射率、高温靶场拟选择均匀的砂地; 中反射率、中温靶场拟选择均匀草地; 低反射率低温靶场拟选择大面积水体。

(2) 以快速自记便携式的光谱仪及红外测温仪开展星地准同步和绝对同步观测。反射率可以采用星地准同步观测, 时间差允许 10^2 min。表面温度应该尽量采取绝对同步观测, 时间差允许 10 min。在均匀性不十分理想的靶场、观测点数要加密, 当时间差超过 10 min 时, 应该采用巡回检测的方法, 即测点测量顺序应是 1、2、3、...、n, 再重复每一测点而顺序为 n、n-1、n-2、...、1。两次平均而得最后的表面温度。

(3) 尽可能多地测量微气象参数、土壤物理参数、作物(植物)生态参数。

在野外作业中完成了这三步工作以后, 基本的同步观测数据已取得。这个过程称之为地面标定。然后将这些已经标定的三个点标准值扩展到整个影像图。具体过程为:

(1) 假定象元灰度与传感器接收到的信号具有线性关系。将三个靶场实际观测的具有代表性的反射率及表面温度数值与相对应的影像图灰度值建立相关方程。

(2) 根据这方程和其他象元点的灰度值, 推算所有象元的反射率及表面温度值。

这样类型的信息扩展仅限于反射率及表面温度两个基本输入要素。为了对更深层的输出结果进行信息空间扩展, 不能采取上述方法。因为输出结果往往与灰度之间具有非线性关系。应该在获取每个象元的基本输入要素后, 还要通过辅助参数的空间内插, 获得每个象元点的内插值, 然后一个一个象元进行计算。综上所述, 空间扩展或称为尺度转换包括两个过程: (1) 依靠点测量数据标定相应影像图上的象元点灰度值, 即以点标定面; (2) 根据已知象元点灰度值和地面参数的相关方程, 推算所有相应象元点的地面参数值, 即以面标定点。

由于遥感信息是瞬时值。对于像地表通量这类参数, 通常需要日总量或白天总量。所以对于这些参数, 在进行遥感信息空间扩展之前, 还应该在测点上进行时间扩展。它根据地表通量的日变化过程曲线及其积分值, 对相应遥感时刻的瞬时值进行时间扩展。

在遥感实验场里, 除了进行时间扩展实验之外, 还应该将遥感信息进行波段扩展以及二向性纠正。无论那种波段的遥感信息均是在一个非常窄的有限波段里的信号。而热红外表面温度以及反射率均是在全波段里的半球分布的平均值。

这种波段供需的矛盾,显然也是遥感信息中的一种严重的限制。目前解决这种矛盾的唯一途径仍然是在实验室或实验场进行,利用积分球和黑体源进行定标。详细的标定过程,不再赘述。

二向角度的纠正是非常重要的。草原与土壤反射率与热辐射均是各向异性的,具有非均匀的二向性分布,也就是反射率与热辐射随太阳入射角及观测角变化而变化。遥感信号的单向性以及地表参数的 π 半球性之间又存在着供需的矛盾。在相当长的时间里,很多模型均把下垫面作为各向同性处理。大多把垂直方向的测量值作为 π 半球的平均值。这种取代将造成不可接受的误差。目前植被及土壤的二向反射函数的研究(BRDF)已经成为独立研究领域,发展迅猛,也成为开拓遥感信息的应用潜力的重要手段。显然,各种类型的草地及土壤 BRDF 测量和数据积累是解决这种矛盾的有效措施。

总之,测点上的各种数据及信息必须依靠遥感信息进行空间扩展,而遥感信息又必须依靠测点上的各种转换及纠正,使其满足应用上的需求。点、面结合、互相支撑是现阶段开始定量遥感的现实可行途径。图1形象地概括上述思想。

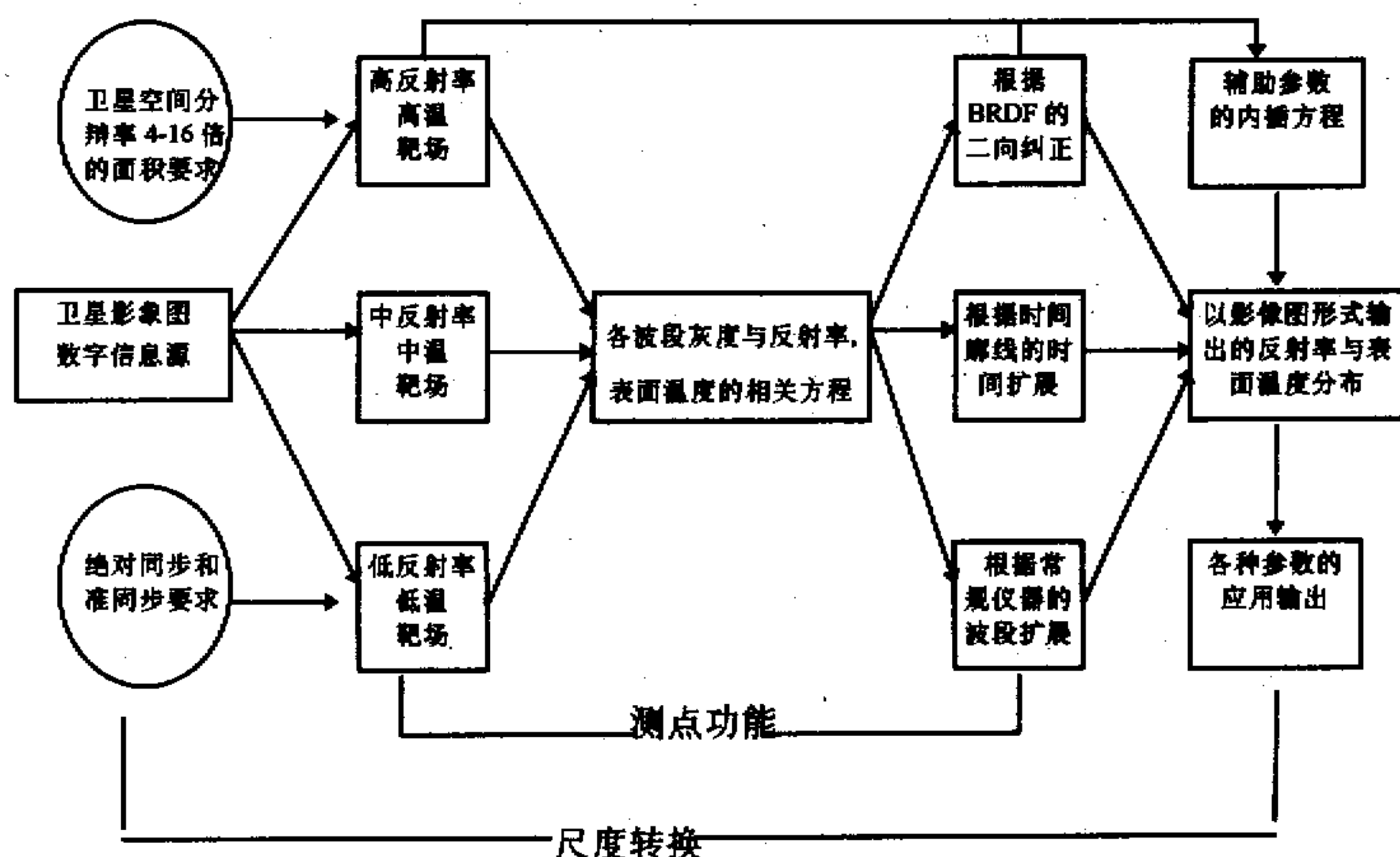


图1 点面结合的尺度转换

4 结束语

本文阐述了 IMGRASS 课题中各种信息的中尺度需求及如何运用遥感信息与测点数据相结合,进行尺度转换。在目前具有相当限制性的遥感信息的现实条件下,这些方法是开展定量遥感的可行途径。在此必须强调一点,这种现实的定量遥感途径适合于在十分有限的经费支撑下及在比较短的研究周期里作出成果的客观条件。我们非常希望有

条件的遥感科学家在有高强度经费的支持下深入开展定量遥感的新理论、新方法的研究。这与开展上述现实的定量遥感是不矛盾的。

就陆面温度的定量遥感一项研究而言,到目前为止,还没有找到一个公认有效的能获得可与空气温度的测量精度(0.5~1.0 K)相匹配的直接遥感测量方法或反演方法。美国 JPL 的科学家们早在 10 多年前,就提出用航空 6 通道红外扫描仪(TIMS)获取 6 个通道的地面温度和比辐射率,但在 6 组方程中必须首先知道一个通道的地表比辐射率或假定一个通道的地表比辐射率为常数,否则方程组无解。目前只能在地表比辐射率十分稳定的沙漠地带开展这种研究。法国 Backer 等著名的热红外遥感专家运用了一种所谓“与温度无关的热红外光谱指数”(Temperature Independent Spectral Index)试图利用 AVHRR 第 3 波段的白天与晚上的信息,直接推算陆面温度和比辐射率,但至今还在进行可行性论证。美国最近又在发展高级星载热发射、反射辐射计(Advanced Spaceborne Emission and Reflection Radiometer)直接分离地面温度和比辐射率,其结果如何有待最近实验效果的公布。这些项目的投资每一项均与 IMGRASS 整个课题经费相当甚至超过数倍。

科学的发展总是永无止境的,更先进的遥感仪器,更高深的遥感理论总会不断地发展下去。然而消极等待是没有出路的,本文只是回到现实中来,讨论在 IMGRASS 中如何开展定量遥感。

参 考 文 献

- 1 张仁华, 1996, 实验遥感模型及地面基础, 北京: 科学出版社.
- 2 张仁华, 1987, 高塔实验遥感, 农田蒸发研究, 北京: 气象出版社.
- 3 张仁华, 1981, 红外测温原理, 土面增温剂机理与效应, 北京: 科学出版社.
- 4 Slater, P. N. et al., 1987, Reflectance and radiance-based methods for the in-flight absolute calibration of multispectral sensors, *Remote Sensing of Environment*, 22, 11~37.
- 5 Guyot, G. et al., 1992, Radiometer corrections for quantitative analysis of multispectral, multitemporal and multisystem satellite data, *Remote Sensing of Environment*, 27.

Scale Transformation and Realistic Quantitative Remote Sensing in IMGRASS

Zhang Renhua, Sun Xiaomin and Zhu Zhiling

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract This paper discussed the contradiction between representation of the traditional ground measurements and requirements in IMGRASS project as well as analyzed the advantage and limitations of remote sensing technology and data. And presented a feasible method for scale transformation under realistic conditions.

Key words remote sensing scale transformation simultaneous measurement